Étude de l'industrie canadienne du chlore

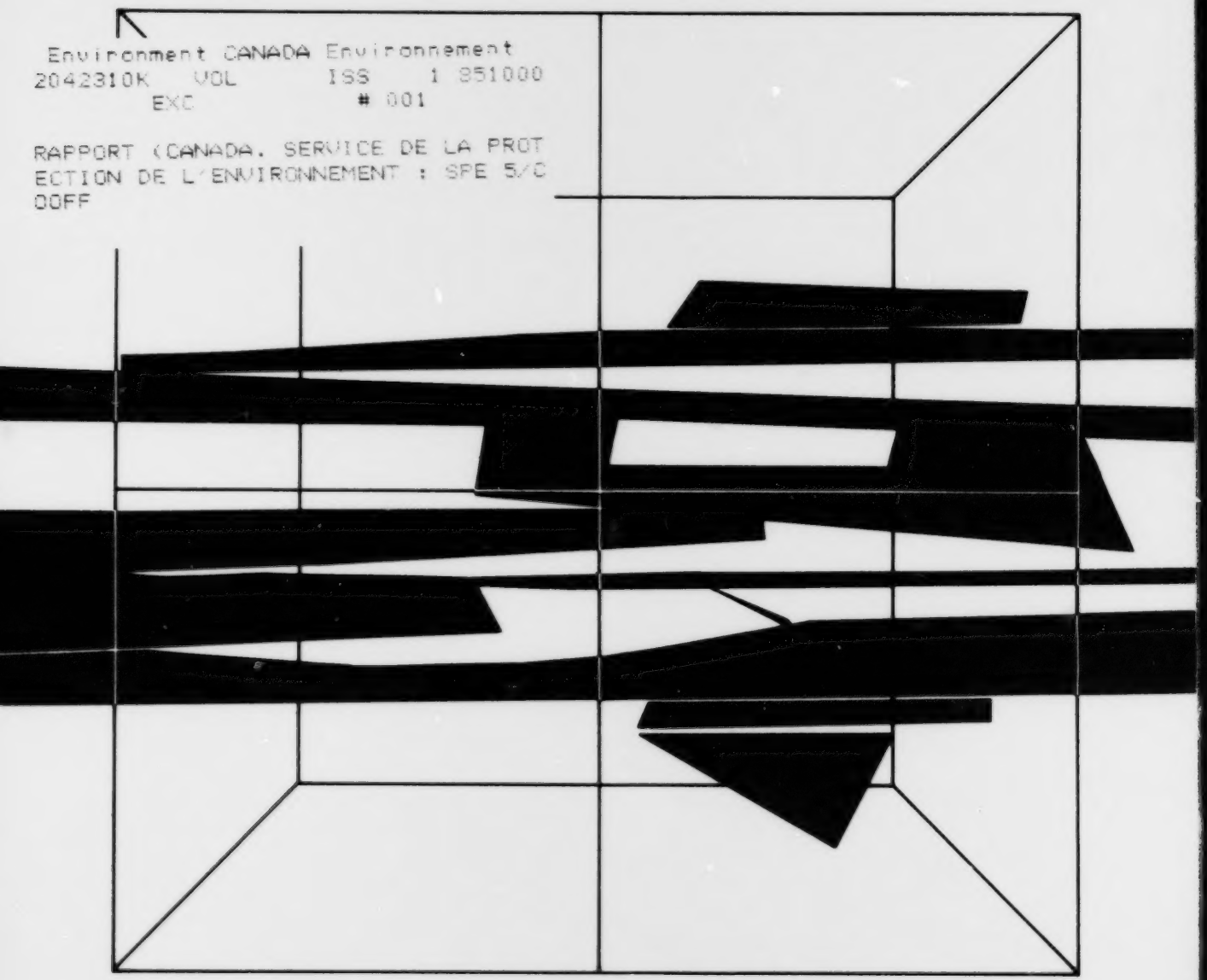
Situation de l'industrie et mesures prises contre la pollution de l'eau

1885
1985

Rapport SPE 5/CC/1
Octobre 1985

Environment CANADA Environnement
2042310K VOL ISS 1 851000
EXC # 001

RAPPORT (CANADA. SERVICE DE LA PROT
ECTION DE L'ENVIRONNEMENT ; SPE 5/C
OOFF



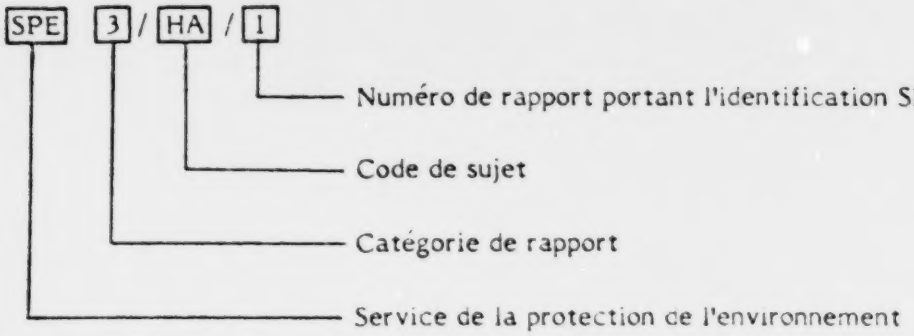
Environnement Canada
Service de la protection de l'environnement

Environment Canada
Environmental Protection Service

Canada

RAPPORTS DU SERVICE DE LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT

Exemple de numérotage:



Catégories

1	Règlements/Lignes directrices/ Codes de procédure
2	Consultation publique: évaluation des problèmes, options de contrôle
3	Recherche et développement technologique
4	Revues de la documentation
5	Relevés
6	Évaluations des impacts sur l'environnement
7	Surveillance
8	Propositions, analyses et énoncés de principes généraux
9	Guides

Sujets

AG	Agriculture
AP	Polluants atmosphériques
AT	Toxicité aquatique
CC	Produits chimiques commerciaux
CP	Pollution - consommateurs
FP	Traitement des aliments
HA	Déchets dangereux
IC	Chimie inorganique
MA	Pollution marine
MM	Exploitation minière et traitement des minéraux
NR	Régions du Nord
PF	Papier et fibres
PG	Production de l'électricité
PN	Pétrole et gaz naturel
SP	Déversements de pétrole et de produits chimiques
SRM	Méthode de référence normalisée
TS	Systèmes de transport
UP	Pollution urbaine

Sujets et codes additionels sont introduits au besoin. Une liste de rapports du SPE peut être obtenue en s'adressant à la Section des publications, Service de la protection de l'environnement, Environnement Canada, Ottawa (Ontario) K1A 1C8.

Centenaire des parcs nationaux
1885
1985
National Parks Centennial

1885–1985: 100 ans de conservation du patrimoine
Le premier parc national du Canada a été aménagé en 1885, à Banff en Alberta. Aujourd'hui il y a des parcs nationaux et des parcs historiques nationaux dans chaque province et territoire. Le centenaire des parcs nationaux représente l'occasion de réaffirmer le désir de préserver notre patrimoine au profit de tous les Canadiens.

ÉTUDE DE L'INDUSTRIE CANADIENNE DU CHLORE

Situation de l'industrie et mesures prises contre la pollution de l'eau

Préparé par

I. McBeath

Division des industries chimiques
Direction des programmes industriels
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada

Rapport SPE 5/CC/1
Octobre 1985

Publication distribuée
par le Service de la protection de l'environnement
Ministère de l'Environnement
Hull
K1A 1C8

COMMENTAIRES

Pour tout commentaire au sujet du présent rapport, s'adresser à:

M. Ian McBeath
Direction des programmes industriels
Service de la protection de l'environnement
Environnement Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 1C8

Also available in English

Édition française de
Review of the Canadian Chlor-alkali Industry
préparée par le Module d'édition française
Ministère de l'Environnement

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1985
N° de cat. En 49-2 5-1F
ISBN 0-662-93476-8
IMPRIMERIE BEAUREGARD LIMITÉE

REMERCIEMENTS

L'auteur remercie le personnel de toutes les compagnies ainsi que les compagnies pour leur aide et les renseignements techniques qu'elles ont fourni sur le recyclage, la réutilisation et le traitement des eaux usées dans leurs établissements.

Nous remercions également pour leur coopération le personnel des services provinciaux de l'environnement, celui des Régions du S.P.E., ainsi que le personnel des laboratoires et des compagnies; ils ont fourni la plupart des données relatives aux concentrations des contaminants et aux débits, effectué les contrôles et les mesures et enfin vérifié le présent rapport en apportant les corrections et les commentaires appropriés. La liste des personnes qui ont coopéré à ce projet serait trop longue, et nous les remercions toutes, même si leur nom n'est pas mentionné.

Nous remercions en particulier M. D. Wayne Bissett, Chef de la Division des industries chimiques, qui a fourni conseils et assistance tout au long de ce programme, Mme Vicky Jones, qui est l'éditeur du rapport anglais, le personnel de secrétariat pour la transcription des projets et des corrections et enfin la Division du dessin pour les schémas.

RÉSUMÉ

Le présent rapport est une étude des usines canadiennes de chlore, et plus particulièrement les points suivants ont fait l'objet d'une attention particulière: procédés industriels; production de résidus; recyclage et réutilisation de l'eau; autres techniques permettant de diminuer la quantité de résidus; méthodes de traitement des eaux usées; teneurs et charges en polluants classiques et prioritaires de l'effluent final par ces usines. L'information ainsi recueillie est fondée sur des observations effectuées lors de visites d'usines de chlore en 1981-1982, sur des rapports de compagnies et enfin sur la documentation existante.

L'industrie du chlore ainsi que les techniques de production utilisées ont connu une évolution relativement lente; mais, pendant les dix dernières années, plusieurs changements importants sont intervenus. Parmi les plus importants, on peut citer les suivants:

- la conversion des anodes en graphite, en anodes à dimensions stables (ADS), dans la plupart sinon dans la totalité des usines;
- la mise au point de procédés de traitement permettant d'éliminer presque tout le mercure déversé dans les eaux usées par les usines équipées de cellules à cathode de mercure;
- le remplacement des cellules à mercure par de nouveaux dispositifs à membrane échangeuse d'ions dans deux usines;
- l'élimination de toutes les eaux usées de procédé dans une usine équipée de cellules à diaphragme et l'élimination presque totale dans deux autres;
- la baisse sensible de la quantité d'eaux usées de procédé, produites par d'autres usines équipées de cellules à diaphragme ou à mercure;

Les modifications apportées aux procédés et aux traitements dans toutes les usines de chlore ont permis d'abaisser sensiblement les teneurs en polluants classiques dans les eaux usées évacuées et, là où des anodes en graphite étaient utilisées, elle a permis d'éliminer presque complètement les résidus organiques produits lors de la purification du chlore.

N.D.T.: Dans le présent rapport, le vocable "usines de chlore" désigne les usines fabriquant du chlore et de la soude ou de la potasse.

On a décelé environ 25 contaminants organiques chlorés, plus un certain nombre de métaux. Les teneurs en métaux dans l'effluent final sont trop faibles pour être réduites par les techniques classiques. Les teneurs en polluants organiques sont elles aussi très faibles, allant de quelques traces à 260 microgrammes par litre.

Des essais biologiques avec les effluents bruts n'ont révélé aucune activité génotoxique. Des échantillons d'effluents, concentrés par extraction au dichlorure de méthylène, avaient des effets mutagènes sur *Salmonella*, l'activité pouvant doubler, voire quadrupler, si on considère le nombre de mutants par colonie. Les produits d'extraction d'effluents de deux usines ont également révélé des dommages aux chromosomes ainsi qu'une inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN.

ABSTRACT

This report reviews production processes, waste products produced, recycle and reuse of water, and other waste reduction practices, wastewater treatment practices, and concentrations and loadings of conventional and priority contaminants discharged into the final effluent from Canadian chlor-alkali plants. This information is based on surveys carried out during 1981-82 visits to chlor-alkali plants, company reports, and literature surveys.

The chlor-alkali industry and associated production technology has had a history of slow evolution; however, over the past ten years several significant changes have been implemented. Among the more important changes are:

the conversion from graphite electrodes to dimensionally stable anodes (DSA) at most, if not all, plants;

the development of treatment processes to eliminate nearly all mercury discharges in wastewater from mercury cell plants;

the conversion from mercury cells to the new ion-exchange membrane technology at two plants;

the elimination of all process wastewaters from one diaphragm-cell plant and the near elimination from two others; and

the marked reduction of process wastewaters from other diaphragm-cell and mercury-cell plants.

The process and treatment changes made at all chlor-alkali plants have significantly reduced conventional pollutant concentration in the wastewaters discharged, and virtually eliminated organic wastes produced in the chlorine purification process, where graphite anodes were used.

About 25 chlorinated organic contaminants were found, besides a number of metals. The metallic concentrations in the final effluent are too low to be treatable by conventional techniques. The organic pollutant concentrations are also low, ranging from trace levels to 260 micrograms per liter.

Biological testing of these straight effluents elicited no genotoxic activity. The effluent samples, which were concentrated by extraction with methylene dichloride, were mutagenic to *Salmonella*, with the activity ranging from a two-to four-fold increase in mutant colony count. Two plant effluent extracts also exhibited chromosome-damaging activity and DNA repair inhibition.

TABLE DES MATIÈRES

Remerciements		III
Résumé		IV
Abstract		VI
Liste des figures		IX
Liste des tableaux		X
Sommaire et recommandations		XIII
1	INTRODUCTION	1
1.1	Généralités	1
1.2	Objectifs de l'étude	1
1.3	Orientation générale et méthode	2
2	PROCÉDÉ DES CELLULES À MERCURE	4
2.1	Description du procédé	4
2.2	Consommation d'eau et sources d'eaux usées	5
2.2.1	Consommation d'eau	5
2.2.2	Sources d'eaux usées	7
2.3	Teneurs en polluants classiques - Collecte des données	11
2.3.1	Méthodes	11
2.3.2	Description de quelques usines	11
2.4	Polluants prioritaires et tests biologiques - Méthodes	26
2.4.1	Polluants prioritaires	26
2.4.2	Tests de toxicité pour la vie aquatique	31
2.4.3	Tests biologiques	33
2.5	Résultats et commentaires	34
2.5.1	Polluants classiques	34
2.5.2	Polluants prioritaires et tests biologiques	35
2.5.3	Commentaires	39
2.6	Options de décontamination et méthodes de traitement	46
2.6.1	Polluants classiques	46
2.6.2	Polluants prioritaires	48
2.6.3	Choix de la méthode appropriée	57
3	PROCÉDÉ UTILISANT DES CELLULES À DIAPHRAGME	58
3.1	Description du procédé	58
3.2	Consommation d'eau et sources d'eaux usées	61
3.2.1	Consommation d'eau	61
3.2.2	Sources d'eaux usées	61
3.3	Polluants classiques - Méthode de collecte des données	65
3.3.1	Méthodologie	65
3.3.2	Description d'usines	65
3.4	Polluants prioritaires et tests biologiques	77
3.4.1	Polluants prioritaires	77
3.4.2	Tests de toxicité aquatique	80
3.4.3	Tests biologiques	80

3.5	Résultats: commentaires	80
3.5.1	Polluants classiques	80
3.5.2	Polluants prioritaires et tests biologiques	81
3.5.3	Commentaires	83
3.6	Options de décontamination et méthode de traitement	85
3.6.1	Polluants classiques	85
3.6.2	Polluants prioritaires	89
3.6.3	Choix de la méthode appropriée	94
4	PROCÉDÉ UTILISANT LA CELLULE À MEMBRANE	96
4.1	Description du procédé de la cellule à membrane	96
4.2	Consommation d'eau et sources d'eaux usées	98
4.2.1	Consommation d'eau	98
4.2.2	Sources d'eaux usées	98
4.3	Polluants classiques - Méthodes	102
4.4	Description de chaque usine	102
4.4.1	Descriptions	102
4.5	Polluants prioritaires et tests biologiques	108
4.6	Options de décontamination et méthodes de traitement	108
4.6.1	Polluants classiques	108
4.6.2	Polluants prioritaires	110
4.6.3	Choix de la méthode appropriée	110
RÉFÉRENCE		112
GLOSSAIRE		113
ANNEXE A	Liste des polluants toxiques	117
ANNEXE B	Résultats de tests biologiques pour déterminer l'activité des effluents finals des usines équipées de cellules à mercure	123
ANNEXE C	Résultats de tests biologiques pour déterminer l'activité génotoxique des effluents finals des usines équipée de cellules à diaphragme	135

LISTE DES FIGURES

1	Schéma d'une cellule à mercure	5
2	Procédé de fabrication par cellule à mercure, et localisation des pertes possibles de mercure	6
3	Schéma de la cellule à diaphragme Hooker type S-3C	59
4	Diagramme de fonctionnement d'une usine type de chlore équipée de cellules à diaphragme	60
5	Schéma du compartiment d'une cellule à membrane et du montage de la cellule	97
6	Diagramme du procédé de fabrication de chlore et de soude caustique avec cellules à membrane	99

LISTE DES TABLEAUX

1	Débits d'eaux usées provenant d'usines de chlore équipées de cellules à mercure: résumé	10
2	Teneurs et charges en polluants des effluents de l'usine n° 1 équipée de cellules à mercure	15
3	Teneurs et charges en polluants de l'effluent de l'usine n° 2 équipée de cellules à mercure	20
4	Teneurs et charges en polluants des effluents de l'usine n° 3 équipée de cellules à mercure	23
5	Teneurs et charges en polluants de l'effluent de l'usine n° 4 équipée de cellules à mercure	25
6	Teneurs et charges en polluants des effluents de l'usine n° 5 équipée de cellules à mercure	27
7	Teneurs en polluants toxiques des effluents d'usines (États-Unis) lors de vérifications de leur qualité	29
8	Résumé des teneurs et charges en métaux prioritaires des effluents finals d'usines équipées de cellules à mercure	30
9	Polluants organiques prioritaires décelés dans l'effluent final d'usines équipées de cellules à mercure; intervalles des teneurs et normes de qualité de l'eau environnante proposées par l'EPA (États-Unis)	32
10	Résultats sommaires des analyses d'échantillons d'effluents	38
11	Résultats sommaires des tests de mutagénicité chez Salmonella	39
12	Présence d'agents potentiellement cancérigènes ou mutagènes, dans les effluents finals d'usines équipées de cellules à mercure	41
13	Circuits résiduaires des usines équipées de cellules à mercure, avec options de décontamination et traitements	50
14	Comportement dans le milieu aquatique et méthodes de traitement possibles des polluants prioritaires présents dans l'effluent final des usines de chlore équipées de cellules à mercure	53
15	Débits d'eaux usées des usines de chlore équipées de cellules à diaphragme: résumé	65
16	Teneurs et charges en polluants de l'effluent de l'usine de chlore n° 1 équipée de cellules à diaphragme	68

17	Teneurs et charges en polluants de l'effluent de l'usine de chlore n° 2 équipée de cellules à diaphragme	70
18	Teneurs et charges en polluants de l'effluent de l'usine de chlore n° 3 équipée de cellules à diaphragme	73
19	Charges mesurées dans l'effluent brut d'usines à anodes métalliques aux États-Unis: résumé	77
20	Substances organiques toxiques dans l'effluent brut d'une usine employant des anodes en graphite, aux États-Unis	78
21	Teneurs et charges en métaux prioritaires de l'effluent final d'usines équipées de cellules à diaphragme: résumé	79
22	Polluants organiques prioritaires décelés dans l'effluent final d'usines de chlore équipées de cellules à diaphragme, leurs intervalles de concentration et les normes qualitatives pour l'eau environnante proposées par l'EPA	82
23	Analyse des échantillons d'effluent: résumé des résultats	84
24	Tests de mutagénicité chez Salmonella: résumé des résultats	84
25	Polluants organiques prioritaires, décelés dans l'effluent final des usines de chlore équipées de cellules à diaphragme, leur comportement en milieu aquatique et traitement possibles	90
26	Teneurs et charges en polluants de l'effluent de l'usine de chlore n° 1 équipée de cellules à membrane	105
A1	Liste des polluants toxiques	119
B1	Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'échantillon n° 1 d'effluent brut d'une usine équipée de cellules à mercure	125
B2	Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'échantillon n° 2 d'effluent brut d'une usine équipée de cellules à mercure	126
B3	Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'échantillon n° 3 d'effluent brut d'une usine équipée de cellules à mercure	127
B4	Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'extrait n° 1 d'effluent final d'une usine équipée de cellules à mercure	128
B5	Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'extrait n° 2 d'effluent final d'une usine équipée de cellules à mercure	129
B6	Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'extrait n° 3 d'effluent final d'une usine équipée de cellules à mercure	130
B7	Test de mutagénicité chez Salmonella avec un blanc d'extrait	131

B8 Aberrations chromosomiques chez les cellules de hamster à queue de rat, après exposition à des extraits d'effluents finals d'usines de chlore équipées de cellules à mercure 132

B9 Test de synthèse réparatrice de l'ADN avec des extraits d'effluents finals d'usines de chlore équipées de cellules à mercure (test effectué avec une culture de fibroblastes humains) 133

B10 Test d'inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN avec des extraits d'effluents finals d'usines de chlore équipées de cellules à mercure (effet sur la synthèse réparatrice de l'ADN, induite par les UV, dans une culture de fibroblastes humains) 134

C1 Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'échantillon n° 1 d'effluent brut d'une usine équipée de cellules à diaphragme 137

C2 Test de mutagénicité chez Salmonella avec l'échantillon n° 1 d'effluent final d'une usine équipée de cellules à diaphragme 138

C3 Test de mutagénicité chez Salmonella avec un blanc d'extrait 139

C4 Aberrations chromosomiques dans les cellules de hamster à queue de rat, exposées aux extraits n° 1 d'effluents finals d'usines équipées de cellules à diaphragme 140

C5 Test de synthèse réparatrice de l'ADN avec des extraits d'effluents finals d'usines équipées de cellules à diaphragme (culture de fibroblastes humains) 141

C6 Test d'inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN avec des extraits d'effluents finals d'usines équipées de cellules à diaphragme (effet sur la synthèse réparatrice de l'ADN, induite par les UV, dans des cultures de fibroblastes humains) 142

SOMMAIRE ET RECOMMANDATIONS

L'industrie du chlore est un secteur important et déjà ancien de l'industrie chimique minérale. La fabrication de produits caustiques et de chlore par électrolyse du chlorure de sodium ou de potassium se fait par trois procédés. Les deux principaux procédés utilisent la cellule à diaphragme et la cellule à mercure; le troisième, qui fait appel à la cellule à membrane échangeuse d'ions, est employé dans trois usines de taille relativement petite au Canada. La production canadienne actuelle de produits caustiques et de chlore par les trois procédés est respectivement d'environ 78 %, 16,5 % et 5,5 %.

Les cellules donnent toutes des qualités comparables de chlore, mais les produits caustiques obtenus présentent des qualités variables; par exemple, les cellules à mercure donnent une solution d'alcali plus concentrée (50 % de NaOH), de pureté plus élevée que celle obtenue avec des cellules à diaphragme (solution à env. 12,5 % de NaOH, qui doit être évaporée pour obtenir une solution à 50 % de NaOH, renfermant approximativement de 1 % à 1,5 % de NaCl). Par ailleurs, les cellules à membrane permettent de produire un alcali très pur à une concentration de 20 % à 25 %. Cette solution peut être concentrée à environ 40 % par passage à travers un évaporateur fonctionnant grâce à la chaleur récupérée. Une source de chaleur externe est nécessaire pour augmenter la concentration de la solution caustique de 40 % à 50 %.

Les différences de conception de la cellule et des procédés unitaires associés entraînent des variations de la qualité et de la quantité des eaux usées produites; il est à noter cependant que des modifications dans les procédés unitaires à l'intérieur des usines, ainsi que les pratiques de recyclage et de réutilisation des eaux usées, ont permis de réduire sensiblement les charges de polluants classiques et prioritaires provenant de ce secteur industriel.

Les principaux polluants classiques provenant des usines de chlore sont des produits acides ou basiques, les matières solides en suspension ou dissoutes, et le chlore résiduel. Les mesures prises par cette industrie pour réduire la quantité des polluants dans les eaux usées évacuées sont résumées ci-dessous:

Paramètre	Mesures prises pour le traitement	Résultats
pH	Recyclage, réutilisation ou neutralisation des produits acides et alcalins	Le pH des eaux usées évacuées se situe normalement dans l'intervalle 6-9. Il peut y avoir des fluctuations entre pH 2 et pH 12

Paramètre	Mesures prises pour le traitement	Résultats
Matières en suspension	Les matières solides dans la saumure sont séparées par filtration ou décantation, et elles sont déversées dans des décharges, des mines de sel ou dans l'océan Matières solides rejetées, provenant de la mise au rebut lors de la remise à neuf des cellules, et déversées dans une décharge autorisée	Teneur en matières en suspension normalement faible, soit moins de 25 mg/l
Matières dissoutes	Fuites et déversements accidentels de saumure, d'acides et de produits caustiques; ils sont recueillis et recyclés	La quantité de matières dissoutes évacuée atteint en moyenne 50 kg/1000 kg de chlore produit. Pour certaines usines, les rejets sont plus importants (230 kg/1000 kg)
Chlore	L'effluent de l'épurateur des gaz de queue est utilisé, décomposé et recyclé ou évacué. Les eaux usées renfermant du chlore sont purifiées, recyclées ou réutilisées	Les teneurs en chlore résiduel sont normalement inférieures à 0,1 mg/l, mais il peut y avoir des pointes jusqu'à 100 mg/l

Les principaux contaminants prioritaires évacués par les usines de chlore sont le mercure (usines équipées de cellules à mercure), l'amiante (usines équipées de cellules à diaphragme), les métaux prioritaires et les composés organiques chlorés. Les mesures prises par l'industrie du chlore et des alcalis pour réduire la quantité de ces polluants dans les eaux usées déversées sont résumées ci-dessous.

Paramètre	Mesures prises pour le traitement	Résultats
Mercure	Les eaux usées contaminées par le mercure sont recyclées ou traitées pour éliminer le HgS sous forme de HgS. Les matières solides provenant du traitement de la saumure, riches en mercure, sont soit traitées en cornue ou lixiviées pour en extraire le mercure, soit enfouies dans une	La quantité de mercure évacuée dans l'effluent final est très faible quelle que soit l'usine. La charge moyenne pour les cinq usines est de 0,51 gramme par tonne métrique de Cl_2 produite. Les normes actuelles autorisent 2,5 grammes de mercure par tonne de Cl_2 produite

Paramètre	Mesures prises pour le traitement	Résultats
	décharge autorisée. Les produits caustiques sont filtrés pour séparer Hg. L'eau de lavage à contre-courant est recyclée ou traitée. Les produits de condensation des circuits des gaz d'évents et d'hydrogène sont recyclés ou traités. Toutes les autres eaux usées contaminées par le Hg sont traitées pour l'éliminer	
Amiante	Toutes les eaux de lavage des cellules à diaphragme, ayant une forte teneur en amiante, sont retenues temporairement et sont filtrées; les matières solides récupérées sont chargées dans des barils et sont enfouies; ou encore, la suspension est transférée dans un étang, et l'amiante est expédié dans une décharge autorisée	Les mesures faites à l'une des usines révèlent des concentrations inférieures à un million de fibres par litre. Cette concentration n'est pas très élevée si on considère que 5 % des Canadiens sont approvisionnés en eau potable renfermant plus de 10 millions de fibres par litre
Plomb	Utilisation d'anodes à dimensions stables par les usines (à l'exception peut-être de trois usines, dont les données sont manquantes). Aucune des usines, y compris les trois dont l'information est manquante, n'utilise de plomb	La teneur en plomb est faible dans les effluents de toutes les usines; elle est inférieure au niveau obtenu par traitement classique, soit 0,005 mg/l
Autres composés métalliques	Le traitement pour éliminer Hg sous forme de HgS dans les eaux usées des cellules à mercure élimine probablement d'autres composés métalliques	Les teneurs en composés métalliques prioritaires sont faibles dans toutes les usines
Composés organiques chlorés	La faible quantité de résidus organiques chlorés, produite par les cellules équipées d'anodes en graphite, a été éliminée par l'introduction des ADS.	Certains composés organiques chlorés, comme l'hexachlorobenzène, doivent être éliminés, et il faudra réduire sensiblement les teneurs en autres composés organiques chlorés des eaux usées évacuées.

En dépit du fait que les usines équipées de cellules à mercure ont mis au point des procédés qui leur permettent de se conformer aux règlements fédéraux sur les effluents liquides contenant du mercure et de maintenir leurs émissions dans l'atmosphère

à des niveaux raisonnables, les deux tiers des usines équipées de cellules à mercure ont été, ces douze dernières années, soit mises hors de service, soit converties aux procédés à membrane ou à diaphragme. En raison des problèmes inhérents à la pollution par le mercure, et du fait que le procédé au mercure ne présente aucun avantage du point de vue énergétique sur les nouveaux types de cellules à diaphragme et à membrane, l'industrie se contentera probablement d'utiliser les cinq usines existantes.

Dans l'avenir, lorsque la cellule à membrane échangeuse d'ions aura été perfectionnée et donnera un produit caustique très concentré, on fera probablement de plus en plus appel à ce procédé, parce qu'il n'utilise ni mercure ni amiante, et que les teneurs en contaminants toxiques (métaux et composés organiques chlorés) dans les eaux usées seront probablement aussi faibles et même plus faibles que dans les deux autres procédés. De plus, une purge de l'évaporateur n'est pas nécessaire du fait que le produit caustique est très pur, ne contenant que des quantités négligeables de chlorure de sodium et de sulfate de sodium.

Même si la quantité de composés organiques chlorés s'est trouvée sensiblement réduite par le remplacement des anodes en graphite par des anodes à dimensions stables dans les trois différents types d'usines, l'analyse qualitative et quantitative des polluants prioritaires dans l'effluent final de 5 usines[1], montre qu'il y a encore de faibles quantités de composés organiques chlorés prioritaires dans les eaux usées évacuées par cette industrie. Des essais biologiques (essai avec *Salmonella* pour la mutagénicité) sur les effluents[2] bruts n'ont révélé aucune activité mutagène. Par contre, des échantillons d'effluent final, qui avaient été concentrés par extraction au dichlorure de méthylène, étaient le siège (toujours avec *Salmonella*) d'activité mutagène (extraits de deux effluents), de dommages chromosomiques (extraits de trois effluents) et d'inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN (extraits de deux effluents).

Les données de génotoxicité obtenues à l'aide des échantillons des trois effluents sont malheureusement insuffisantes et ne permettent pas d'évaluer les risques

---

1. L'effluent final est défini comme étant la quantité totale d'eaux usées qui quitte l'usine après le traitement final, ce qui peut comprendre l'eau de refroidissement non recyclée.

2. L'effluent brut est défini comme étant l'échantillon d'eaux usées, reçu par le laboratoire biologique; il n'a pas été soumis à une extraction par des méthodes normalisées. L'effluent brut est normalement une fraction de l'effluent final évacué par l'usine.

pour la santé humaine et les effets possibles sur l'environnement. Parmi les autres facteurs qui pourraient avoir un effet sur l'environnement, on peut citer:

a) le comportement final des contaminants (bioaccumulation, biodégradation, volatilisation, persistance, sorption, etc.),

b) la dilution de l'effluent lors de son entrée dans les eaux en aval,

c) l'entrée de l'effluent dans une source d'approvisionnement en eau potable ou dans des eaux poissonneuses,

d) les fluctuations dans l'évacuation de polluants prioritaires à partir de sources industrielles.

En résumé, cette industrie n'est pas à l'heure actuelle un grand pollueur de l'eau. Les effluents liquides, renfermant des précipités et des sels minéraux non toxiques, sont traités dans des étangs (ou bassins); le surnageant est recyclé ou réutilisé au maximum dans l'usine. Cependant, la présence de faibles quantités de fibres d'amiante, de mercure, de chlore résiduel et de composés organiques prioritaires dans les eaux usées pourrait, à long terme, avoir certains effets sur l'environnement.

Étant donné que cette industrie a mis en oeuvre des moyens très importants pour éliminer les polluants classiques et prioritaires ou en réduire la quantité dans ses eaux usées, et vu que des échantillons d'effluent final, concentrés 250 fois, n'engendraient qu'une activité génotoxique relativement faible, il est proposé qu'aucune autre mesure ne soit prise pour l'instant.

Ce secteur industriel devrait être réexaminé dans cinq à sept ans. Si d'autres recherches s'imposent, nous proposons ce qui suit:

- surveillance individuelle des circuits des polluants prioritaires, de façon à voir s'il est possible de caractériser une source particulière, qui pourra alors être soumise à un traitement plus efficace et moins coûteux.
- fractionnement des extraits d'échantillons pour les essais biologiques, afin de faciliter la caractérisation des composés responsables de l'activité génotoxique.
- localisation d'aires d'élimination pour l'entreposage des matières solides des solutions de saumure, des résidus d'amiante, etc.

1 INTRODUCTION

1.1 Généralités

L'industrie canadienne du chlore comprend des fabricants non seulement de chlore et de soude, mais également de potasse. Cette dernière n'est pas traitée à part dans le présent rapport en raison de son faible volume de production. En outre, les effets sur l'environnement liés à la production de potasse sont semblables à ceux inhérents à la production de soude caustique.

Le chlore et la soude sont produits en même temps et sont largement utilisés dans les secteurs suivants: produits chimiques minéraux et organiques, matières plastiques, pâtes et papiers, industrie de l'aluminium, installations de traitement des eaux et des eaux usées et certains autres secteurs industriels.

Le Canada produit environ 1,4 million de tonnes de chlore par année. De cette quantité, approximativement 78 % sont produits par le procédé utilisant des cellules à diaphragme, à peu près 16,5 % par le procédé utilisant des cellules à mercure, et enfin environ 5,5 % par le procédé utilisant des cellules à membrane. Les trois procédés diffèrent l'un de l'autre par la conception de la cellule, ainsi que par la quantité et la qualité des eaux usées produites; ils ont donc été examinés séparément dans les sections qui suivent.

1.2 Objectifs de l'étude

Les objectifs du présent rapport consistent à examiner l'information de base dans les domaines suivants:

- procédés utilisés dans l'industrie du chlore,
- moyens antipollution mis en oeuvre à l'usine même,
- niveau de pollution engendré par les déversements, d'après les analyses chimiques et les mesures de débit d'effluents représentatifs d'eaux usées de procédé,
- moyens antipollution et méthodes de traitement existants.

Avant le début de la présente étude, la majeure partie des renseignements disponibles traitait du déversement de polluants classiques par ces usines. Toutes les informations antérieures sur les polluants toxiques proviennent d'études de l'EPA (Environment Protection Agency, États-Unis), qui font état de la présence de quelques polluants métalliques et organiques dans les effluents de ce secteur industriel.

L'industrie du chlore consomme énormément d'eau, et même si les substances toxiques présentes le sont en faibles concentrations, la persistance et la non-biodégradabilité de certains de ces polluants rendent leur accumulation dangereuse pour les poissons et, par conséquent, aussi pour l'homme et l'environnement en général.

1.3 Orientation générale et méthode

En 1973, un questionnaire préparé par le Service de la protection de l'environnement (S.P.E.), avec la collaboration de l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques, a été envoyé à toutes les usines de chlore au Canada. Les informations ainsi obtenues sur les débits d'eau, les teneurs en polluants classiques, les méthodes de surveillance et les techniques d'élimination des boues, ont été réunies et ont servi de base pour l'étude des méthodes d'assainissement les plus efficaces, applicables dans ce secteur industriel.

En 1974, un groupe de travail a été créé pour servir de forum technique entre l'Association canadienne des fabricants de produits chimiques et les responsables des organismes chargés de la protection de l'environnement de diverses provinces et du gouvernement fédéral.

En dépit de nombreuses réunions, ce groupe de travail n'a réussi à en arriver à un consensus, ni sur les limites du pH et des matières totales en suspension, ni sur les conditions des essais de toxicité aiguë avec des poissons. Après la dernière réunion, vers la fin de 1978, tous les documents de réglementation ont été mis à jour; toutes les études de cas y figuraient, mais ils ne furent jamais publiés sous forme de "Règlements".

Au début de 1979, le S.P.E. proposa d'entreprendre une étude sélective des industries pour divers contaminants toxiques. L'objectif était de permettre au ministère de concentrer ses efforts et ses ressources sur les industries et les contaminants qui présentaient le plus de risques. En 1980-1981, la décision fut prise de procéder à une évaluation complète de l'industrie du chlore.

Des études-enquêtes conjointes S.P.E.-Provinces, avec l'entière collaboration du personnel des usines, ont été entreprises sur une période de deux ans. Cinq usines, normalement représentatives des procédés à diaphragme et à mercure, ont été soumises aux recherches.

Des échantillons composés de 24 heures de l'effluent final et de l'eau d'alimentation ont été prélevés pendant une période de trois jours. On a analysé tous les paramètres classiques sur le terrain ou dans les laboratoires régionaux du S.P.E., et les

résultats ont été comparés aux données antérieures. Les substances toxiques ont été analysées au laboratoire de River Road du S.P.E. à Ottawa. C'est le Cancer Research Centre Vancouver (C.-B.) qui a effectué les essais biologiques pour l'activité mutagène. Les détails de ces essais sont présentés dans les chapitres qui suivent.

2 PROCÉDÉ DES CELLULES À MERCURE

2.1 Description du procédé

Une cellule à mercure comprend généralement deux sections: l'électrolyseur et le décomposeur (la figure 1 présente schématiquement une telle cellule). L'électrolyseur a habituellement la forme d'une auge allongée, légèrement inclinée; il est en acier nu ou comporte un revêtement de caoutchouc et contient de la saumure qui s'écoule pour l'électrolyse. La cathode est constituée d'une mince couche de mercure métallique qui recouvre complètement le fond de l'auge et s'écoule sous la saumure. L'auge est recouverte, et des anodes à dimensions stables (ADS) plongent à partir de la partie supérieure jusqu'au fond de l'électrolyseur. Le chlore, produit aux anodes, sort de la cellule par les collecteurs, d'où il rejoint le système de séchage et de liquéfaction.

À la cathode de mercure, les ions sodium perdent leur charge pour former un amalgame de sodium dilué. Cet amalgame quitte la cellule (figures 1 et 2) et s'écoule jusqu'à une tour garnie de graphite appelée décomposeur. Là, l'amalgame entre en contact avec de l'eau déminéralisée pour donner une solution de soude caustique à 50 %, ainsi que du mercure et de l'hydrogène. La réaction se fait selon l'équation suivante:

$$2Na{:}Hg + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2 + 2Hg$$

Le mercure exempt de sodium est renvoyé par pompage à l'entrée de la cellule pour être réutilisé.

Le chlore gazeux provenant des cellules est refroidi pour éliminer l'eau et d'autres impuretés. Le produit de condensation est généralement traité à la vapeur pour la récupération du chlore, puis renvoyé jusqu'au circuit de saumure ou évacué. Ce chlore gazeux est ensuite séché à l'aide d'acide sulfurique concentré. L'acide dilué est récupéré et vendu ou utilisé pour ajuster le pH. Lorsque le chlore gazeux est comprimé et liquéfié, il y a toujours des gaz non condensables, appelés gaz de queue, constitués d'un mélange à l'équilibre de chlore et d'air. Les gaz de queue sont généralement épurés à l'aide d'un produit caustique ou de chaux, avec formation d'une solution d'hypochlorite qui est décomposée, utilisée sur place, vendue ou évacuée après ou sans traitement.

La solution caustique formée dans le décomposeur a une teneur en NaOH d'environ 50 %. Étant donné que la soude caustique se forme à l'extérieur de la cellule, elle est exempte de sel et peut aussi être exempte de fer, car il n'est normalement pas nécessaire de la pomper à travers un système d'évaporateur, à moins qu'on veuille obtenir

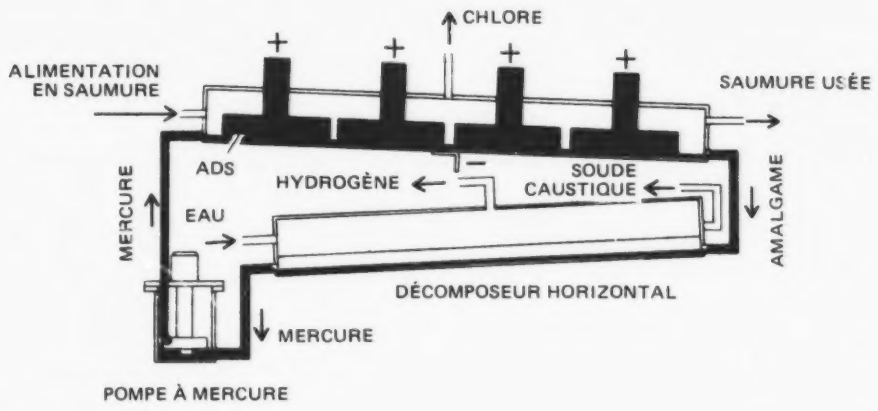


FIGURE 1 SCHÉMA D'UNE CELLULE À MERCURE

une solution caustique à 76 % ou des pastilles de soude. Certaines impuretés comme le mercure sont éliminées ou réduites quantitativement par filtration, assistée par des agents favorisant celle-ci et, dans certains cas, par du charbon actif.

L'hydrogène gazeux est réfrigéré pour enlever la vapeur d'eau et le mercure. Dans certaines usines, il subit encore un traitement au soufre, au charbon actif, lavé avec une saumure chlorée, ou encore on le fait passer à travers des tamis moléculaires. Le produit de condensation du refroidissement de l'hydrogène est ensuite évacué, après récupération du mercure, ou recyclé vers le décomposeur.

2.2 Consommation d'eau et sources d'eaux usées

2.2.1 Consommation d'eau. - Dans les usines équipées de cellules à mercure, l'eau sert aux opérations suivantes: refroidissement sans contact, purification des gaz de queue, lavage des cellules, lavage du plancher, entretien de l'équipement, production d'hydroxyde de sodium. Une quantité minimale d'eau d'appoint est nécessaire pour le circuit de la saumure et pour d'autres sections de l'usine. Cependant, ces besoins sont habituellement satisfaits par de l'eau recyclée ou réutilisée; par exemple, les boîtes d'extrémité, à l'entrée et à la sortie des cellules, sont scellées par immersion dans de l'eau refroidie, recyclée. L'eau condensée du refroidisseur d'hydrogène et du système de refroidissement de la cellule est réutilisée pour refroidir la boîte d'extrémité à l'entrée, et le condensat du refroidisseur de chlore peut être réemployé comme eau d'appoint dans le circuit de saumure.

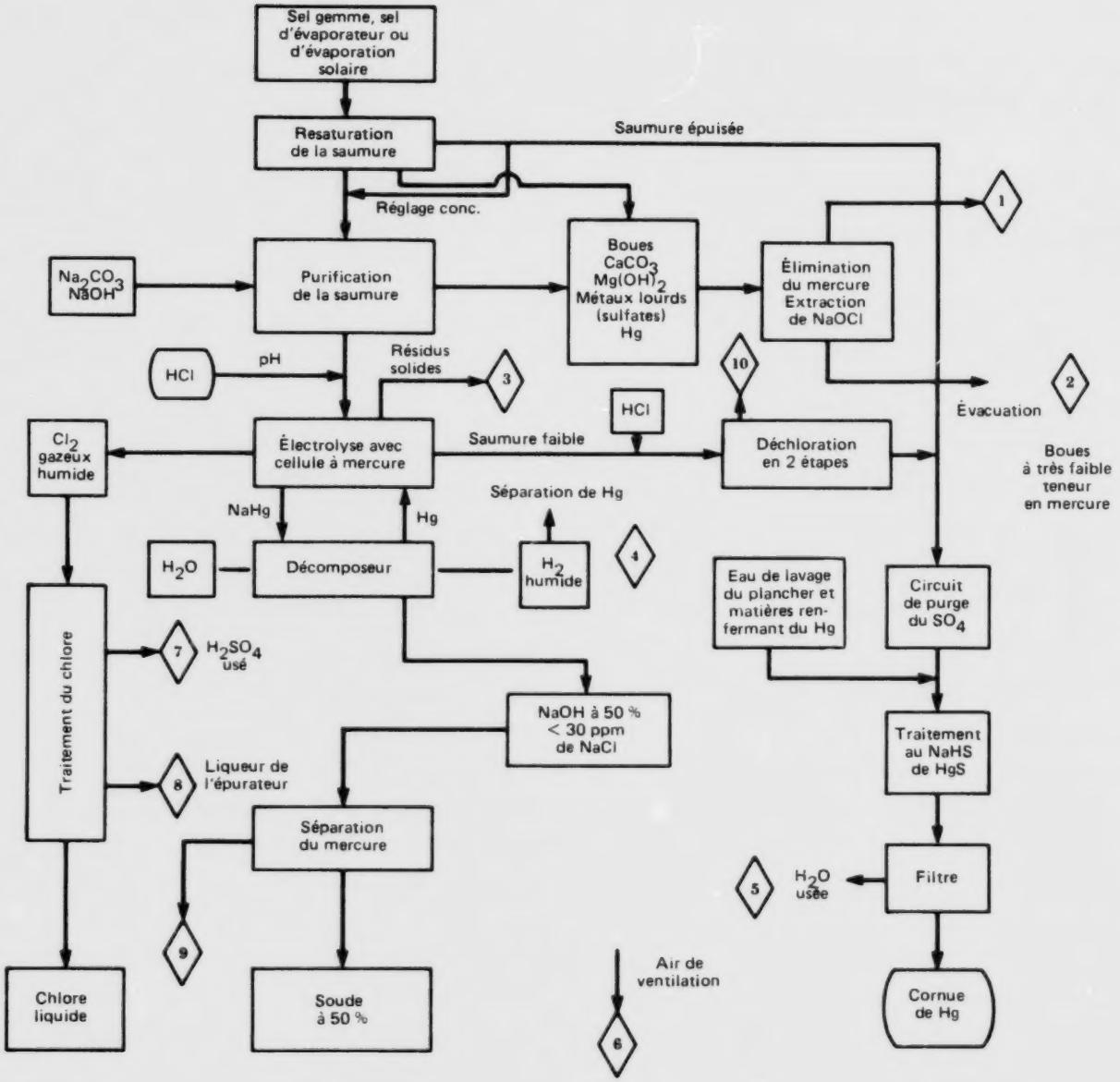


FIGURE 2 PROCÉDÉ DE FABRICATION PAR CELLULE À MERCURE, ET LOCALISATION DES PERTES POSSIBLES DE MERCURE

La consommation totale d'eau par les usines serait, d'après les estimations, de l'ordre de 6,6 m^3 à 210 m^3 par tonne de chlore produite; l'eau de refroidissement n'ayant pas de contact avec les produits représente de 0 % à 98 % du total. Les chiffres de l'EPA, pour des usines comparables, varient de 7,6 m^3/t à 204 m^3/t, dont 70 % environ du total sont constitués d'eau de refroidissement.

2.2.2 Sources d'eaux usées

2.2.2.1 DISSOLUTION. - La principale matière première pour la production de chlore est une solution presque saturée de chlorure de sodium, préparée par dissolution soit de sel gemme, soit de sel obtenu par évaporation solaire de saumure épuisée, recyclée à partir de la cellule. Si on utilise du sel gemme, seulement 94 % à 98 % de celui-ci sont dissous (le reste est de l'anhydrite et de la gangue), ce qui donne approximativement 30 kg à 100 kg de résidus solides par tonne de chlore produite. Si les matières solides sont séparées par filtration, elles renferment encore du mercure, car la saumure recyclée contenant du mercure soluble n'est pas complètement séparée lors du cycle de filtration-lavage. Lorsqu'il y a des étangs pour boues de saumure, cette dernière est recyclée; mais, tout liquide d'infiltration contiendra un peu de saumure, laquelle renferme à son tour du mercure en faible concentration.

2.2.2.2 BOUES DE LA SAUMURE. - La saumure brute provenant du saturateur doit être purifiée davantage avant de pouvoir servir à alimenter les cellules. Cela se fait par addition de chlorure de baryum, d'hydroxyde de sodium et de carbonate de sodium pour porter le pH entre 10 et 11. Lors de la purification, on sépare le plus fréquemment les impuretés suivantes: calcium, magnésium, sulfates, fer, et métaux à l'état de traces, comme le chrome, le titane, le molybdène, le vanadium et le tungstène. Les métaux lourds et le magnésium sont précipités sous forme d'hydroxydes; quant au calcium, il précipite sous forme de carbonate ou de sulfate. Un agent favorisant la floculation et la décantation est généralement ajouté pour mieux séparer le précipité. Les boues résiduelles sont habituellement filtrées puis envoyées dans une décharge ou dans un étang. La quantité de matières solides produites lors de l'étape de purification de la saumure est fonction de la pureté du sel, mais en moyenne, elle atteint 15,6 kg par tonne de chlore produit. De plus, les matières solides renferment environ 3 kg de NaCl par tonne de chlore produit.

Dans le procédé utilisant des cellules à mercure, seulement 16 % environ de la solution de NaCl sont décomposés dans la cellule; par conséquent, la saumure recyclée est contaminée par du mercure, et la boue de saumure en renfermera également de petites quantités.

2.2.2.3 RÉSIDUS DE LA SALLE DES CELLULES. - Parmi les principales sources de résidus de la salle des cellules, on peut citer les suivantes: fuites, déversements accidentels, purges du collecteur de saumure, purge du circuit de refroidissement de la boîte d'extrémité, entretien général et lavage à l'eau des cellules. Les quantités de résidus varient d'une usine à l'autre et sont fonction des pratiques locales. Il est particulièrement important de traiter les eaux usées de la salle des cellules pour en éliminer le mercure.

Par le passé, l'utilisation d'anodes en graphite dans les cellules donnait des résidus renfermant du plomb et des composés organiques chlorés, comme l'hexachlorobenzène. Mais, de nos jours, toutes les usines équipées de cellules à mercure du Canada emploient des anodes à dimensions stables.

2.2.2.4 CONDENSAT DE CHLORE. - Le condensat du système de refroidissement du chlore gazeux est normalement saturé en chlore. Ce condensat est lavé pour en ôter le chlore, et ultérieurement recyclé dans le procédé, ou dirigé vers l'effluent de l'usine. C'est la raison pour laquelle la quantité et le type de ces eaux usées sont variables; mais, normalement, on en compte environ 50 l à 100 l par tonne de chlore produit.

2.2.2.5 ACIDE SULFURIQUE USÉ. - L'acide sulfurique concentré est utilisé dans la tour de séchage pour séparer l'eau résiduelle du chlore gazeux après la première étape du refroidissement.

L'acide sulfurique usé, dont la teneur s'élève à 50 % à 70 %, et le débit, à environ 7 l à 10 l par tonne de chlore produite, est constamment retiré des tours de séchage. Cet acide subit normalement un traitement à la vapeur pour séparer le chlore. L'acide usé peut être régénéré, employé pour ajuster le pH, ou vendu pour d'autres applications, comme par exemple pour la production d'engrais.

2.2.2.6 LIQUIDE DU LAVEUR DES GAZ DE QUEUE. - Les émissions intermittentes de chlore gazeux, comme le gaz non condensé de l'étape de liquéfaction du chlore, les gaz résiduels des wagons-citernes et de la purge de l'équipement, sont passées dans un laveur à l'hydroxyde de sodium ou de calcium pour donner une solution d'hypochlorite de sodium ou de calcium.

L'hypochlorite peut être utilisé sur place, vendu, envoyé dans des systèmes de traitement, ou décomposé avant d'être évacué. La quantité d'eau provenant du laveur des gaz de queue varie d'une usine à l'autre, mais elle se situe en moyenne entre 0,15 m^3 et 0,5 m^3 par tonne de chlore produit. Dans la plupart des usines, une partie du chlore gazeux sert à produire de l'acide chlorhydrique.

2.2.2.7 EAU DE LAVAGE DES FILTRES À SOUDE OU À POTASSE. - La solution caustique à 50 % est filtrée pour en ôter le mercure et d'autres impuretés. Les filtres sont régulièrement lavés, et l'eau de lavage est envoyée dans un réservoir de stockage. Les matières solides qui s'y déposent sont habituellement traitées dans une cornue pour en récupérer le mercure. Le liquide surnageant est dirigé vers le système de traitement de la saumure, recyclé dans le circuit de soude caustique, ou encore envoyé dans le système d'élimination du mercure sous forme de HgS.

2.2.2.8 PRODUITS DE CONDENSATION DES GAZ D'ÉVENTS ET HYDROGÈNE. - L'hydrogène produit dans le décomposeur et les gaz d'évents évacués de la boîte d'extrémité sont normalement refroidis en deux ou trois étapes pour séparer le mercure et l'eau transportés par le gaz. Celui-ci est refroidi initialement par refroidissement indirect dans des échangeurs de chaleur primaires à l'eau. Le produit de condensation est renvoyé dans le procédé ou, si nécessaire, dirigé vers le système d'élimination du mercure sous forme de HgS.

2.2.2.9 PURGE DE LA CHAUDIÈRE. - La purge de la chaudière ajoute environ 10 l à 15 l d'eaux usées par tonne de chlore produit. Ces eaux renferment généralement les corps suivants: sulfates, sulfites, phosphates, silice, carbonates, matières solides en suspension et certains composés métalliques.

2.2.2.10 PURGE DE LA TOUR DE REFROIDISSEMENT. - Les usines de chlore consomment des quantités relativement importantes d'eau de refroidissement. Cette eau, qui peut être puisée dans la mer ou à une source d'eau douce, n'arrive normalement en contact avec aucun des produits chimiques utilisés dans le procédé.

L'eau de refroidissement peut être recyclée à travers une tour de refroidissement, ou utilisée seulement une fois. Lorsqu'il y a des tours de refroidissement, celles-ci doivent subir régulièrement une purge pour éliminer complètement de l'eau les impuretés et les contaminants pouvant former un dépôt, ou au moins en réduire la teneur. Dans ce circuit, on retrouve habituellement les substances suivantes: sodium, calcium, magnésium, chlorures, sulfates, nitrates; certains agents anti-corrosion, comme les chromates, le zinc, les phosphates et les silicates; enfin, des biocides, par exemple le chlore.

2.2.2.11 EFFLUENT DOMESTIQUE ET EAUX REJETÉES PAR LE LABORATOIRE. - L'effluent domestique, y compris l'effluent d'une installation de blanchissage pour vêtements, s'écoule directement dans l'égout municipal ou dans des fosses septiques. Le trop-plein de ces dernières et l'eau provenant du laboratoire sont normalement évacués

sans traitement avec les eaux usées traitées rejetées par l'usine. Le débit, pour les cinq usines du Canada, se situe entre 100 l et 500 l par tonne de chlore produit. Cet effluent renferme un peu de mercure, et la charge est normalement incluse dans le chiffre représentant le déversement total par l'usine.

2.2.2.12 RUISSELLEMENT DES EAUX DE PLUIE. - Les eaux de ruissellement provenant des secteurs d'exploitation (y compris l'eau des toits), ainsi que des sections de stockage des matières premières, des produits finis et des matériaux usés, peuvent être plus ou moins polluées, le niveau de pollution étant fonction de la qualité de l'entretien de l'aire de l'usine, ainsi que de l'abondance et de la fréquence des chutes de pluie.

Dans la plupart des usines, une partie des eaux de pluie est traitée pour éliminer le mercure. Le mercure présent dans les eaux de pluie non traitées fait normalement partie des produits dont la surveillance est exigée quotidiennement de chaque usine.

2.2.2.13 DÉBITS D'EAUX USÉES: RÉSUMÉ. - Les débits d'eaux usées industrielles provenant d'usines de chlore équipées de cellules à mercure sont en moyenne de l'ordre de 3 m^3/1000 kg de chlore produit (tableau 1).

TABLEAU 1 DÉBITS D'EAUX USÉES PROVENANT D'USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE: RÉSUMÉ

	Débits d'eaux usées (m^3/tonne de Cl_2)		
Usine n°	À partir de NaOH, Cl_2	À partir de HCl	Total
1	0,73	3,0	3,73
2	4,5	4,4	8,9
3	5,62	-	5,62
4	1,69	-	1,69
5	2,32	3,3	5,62
Moyenne des cinq usines: 3,0			

Aux États-Unis, treize usines équipées de cellules à mercure ont en moyenne des débits d'eaux usées de 2,1 m^3/1000 kg, mais le débit peut parfois fluctuer jusqu'à 6,3 m^3/1000 kg.

Les valeurs pour les usines canadiennes sont plus élevées que celles correspondant aux usines américaines (USA), parce que les eaux de purge de la chaudière et des tours de refroidissement ont été incluses.

2.3 Teneurs en polluants classiques - Collecte des données

2.3.1 Méthodes. - Des données analytiques détaillées sur les teneurs en polluants classiques des eaux usées industrielles ont été réunies selon un système de collecte d'information en trois volets. En 1973, un questionnaire a été adressé à toutes les usines de chlore équipées de cellules à mercure, demandant des renseignements détaillés sur les débits et les teneurs en polluants des eaux de procédé et de refroidissement.

Pendant les huit dernières années, le personnel régional du S.P.E. et leurs homologues des Provinces ont effectué un certain nombre d'études. Toutes les usines doivent, en vertu de la réglementation, déclarer mensuellement le débit total de leurs effluents liquides ainsi que leurs pertes de mercure. De plus, certaines des usines sont obligées de soumettre un rapport de surveillance mensuel (par exemple pour le pH, le chlore résiduel, les matières en suspension, etc.) à leur ministère provincial de l'Environnement.

2.3.2 Description de quelques usines. - On examine ci-dessous les techniques de décontamination et de traitement des eaux usées par les usines de chlore équipées de cellules à mercure, encore en service au Canada.

2.3.2.1 USINE N° 1. - L'usine n° 1 a été modernisée et agrandie en 1970, époque à laquelle les anciennes cellules à mercure ainsi que les bâtiments abritant les cellules ont été démantelés et remplacés par des cellules à mercure modernes et des bâtiments neufs. Le système de drainage de l'ancienne usine de chlore étant devenu inutile, il a été bouché. Plus tard, on constata que l'infiltration dans les tuyaux de l'ancien égout entraînait des pertes de mercure; ces tuyaux furent donc bouchés aux deux extrémités.

À cette usine, la saumure épuisée provenant des cellules est envoyée dans deux saturateurs, où du sel gemme est ajouté pour augmenter la concentration de sel à environ 310 g/l. Le dépôt de matières solides (principalement de l'anhydrite) au fond des saturateurs est régulièrement évacué dans un réservoir à boues. Cette boue est pompée dans un filtre à vide, puis séchée et évacuée par camions et, enfin, éliminée.

Le trop-plein de saumure saturée du saturateur passe dans trois réservoirs disposés en série, où du carbonate de sodium anhydre, de la soude caustique, du carbonate de baryum et de la chaux sont ajoutés pour précipiter le calcium, le magnésium, les

sulfates, le fer et d'autres impuretés mineures. La saumure est ensuite filtrée pour séparer les impuretés solides. La saumure filtrée est dirigée vers un réservoir de stockage de saumure pure, où il y a addition de HCl, puis vers un refroidisseur de saumure, avant de pénétrer dans le réservoir de tête d'où la saumure s'écoule par gravité dans chaque cellule.

La saumure épuisée quitte les cellules et passe dans un réservoir-tampon, puis dans des réservoirs d'anolyte, où du chlore gazeux est recueilli et transféré dans le circuit principal du chlore. La saumure passe ensuite dans un appareil de dégazéification sous vide, où la majeure partie du chlore gazeux rémanent est séparée de la solution de saumure. Une partie de la saumure est recyclée dans le circuit de saumure saturée pure. De la soude caustique est ajoutée au reste de saumure épuisée, avant son recyclage dans les saturateurs.

Les matières solides provenant du lavage à contre-courant du filtre à saumure, vont dans un réservoir à boues d'où elles sont pompées dans un filtre à vide (le même filtre qui a servi pour les boues du saturateur). Ces matières solides combinées, qui renferment de 95 mg à 150 mg de mercure par kilogramme de boues, sont lixiviées avec de l'hypochlorite de sodium pour séparer et récupérer le mercure, avant leur enfouissement dans une décharge autorisée. Le filtrat du filtre à vide retourne dans le troisième réservoir de réaction de la saumure.

Sont recueillies et dirigées vers le système de traitement: les fuites de saumure, l'eau de purge du filtre à saumure, l'eau d'étanchéité provenant de la pompe à vide du filtre, les eaux usées du pot de garde de l'anolyte, l'eau chlorée, les eaux usées de systèmes étanches non réutilisables et toutes les eaux de lavage de la section.

Un réservoir auxiliaire recueille la saumure en cas de perturbation majeure dans le procédé. Si les grands réservoirs ne peuvent contenir toute la saumure, l'excès passe automatiquement dans ce réservoir. Il peut également recevoir d'autres faibles écoulements.

Le chlore gazeux, chaud et humide, provenant des cellules passe initialement dans deux refroidisseurs à surface, disposés en série. Le premier utilise de l'eau de refroidissement qui est ensuite renvoyée dans les tours de refroidissement. Le second utilise de l'eau de pluie qui est évacuée dans l'égout. Le gaz passe ensuite dans un désembueur, dans quatre tours de séchage à l'acide sulfurique disposées en série, dans un désembueur pour chlore sec, dans un compresseur et enfin dans une première unité de liquéfaction au fréon. Le chlore liquéfié est envoyé au stockage, tandis que le reste du gaz passe dans une seconde unité de liquéfaction. Tout le chlore gazeux résiduel est enlevé par lavage dans une tour d'absorption à la soude. L'acide sulfurique faiblement concentré est entraîné dans l'égout.

Le chlore gazeux résiduel du système de ventilation de la boîte à saletés des cellules, des récepteurs d'acide sulfurique usé ainsi que les gaz d'évents provenant de wagons-citernes et de contenants à tampon d'air sont envoyés dans les absorbeurs à soude. La solution d'hypochlorite de sodium est vendue.

Dans le décomposeur, l'amalgame de sodium-mercure, en contact avec l'eau déionisée, est décomposé pour donner de la soude, de l'hydrogène et du mercure. Ce dernier est renvoyé par pompage à l'entrée de la cellule. L'addition d'eau déionisée est réglée de telle façon qu'il se forme une solution de soude caustique à 50 %. L'eau joue également le rôle de fluide d'étanchéité à l'entrée menant au décomposeur. La soude caustique formée dans le décomposeur s'écoule dans un séparateur, suivi de deux réservoirs récepteurs. De là, la soude est pompée dans un refroidisseur, puis dans un filtre pour séparer les impuretés. Le produit caustique renfermant maintenant moins de 1 ppm de mercure est envoyé au stockage.

De temps en temps, le filtre à soude est lavé et les eaux de lavage envoyées dans un réservoir de stockage. Après décantation, la solution caustique surnageante est recyclée jusqu'au système de traitement de la saumure. Les matières solides renfermant du mercure sont stockées pendant une certaine période, puis envoyées dans une décharge. Tous les effluents sont soit recyclés, soit dirigés vers le système d'épuration des eaux contenant du mercure. Ces effluents peuvent provenir des drains de plancher des aires de réception, de stockage ou de chargement de la solution caustique, des fuites de la pompe, des joints d'eau, etc.

La solution caustique à 20 %, consommée à l'usine même, est préparée en diluant la soude caustique à 50 % avec de l'eau de rivière filtrée.

L'hydrogène gazeux chaud libéré par chaque décomposeur passe à travers des refroidisseurs primaires à eau (jusqu'à environ 24 °C), puis le tout va dans un refroidisseur secondaire également à eau (jusqu'à 18 °C). Le gaz refroidi passe enfin à travers un lit de charbon actif, imprégné de soufre, pour être finalement comprimé. Cet hydrogène gazeux est principalement utilisé comme combustible dans la chaufferie.

Tout le condensat provenant des refroidisseurs primaires retourne aux décomposeurs. Le condensat des collecteurs d'hydrogène et du refroidisseur secondaire est soit recyclé dans le circuit de saumure, soit dirigé vers le système d'élimination du mercure.

Un système de ventilation sur les boîtes d'extrémité à l'entrée de la cellule empêche le dégagement de mercure gazeux dans la salle des cellules. Le gaz traité est refroidi dans un échangeur de chaleur à surface refroidi à l'eau, puis il passe dans un lit de charbon actif, imprégné de soufre. Le condensat recueilli à partir de ce système s'écoule dans le réservoir d'alimentation en eau déionisée.

L'eau utilisée pour le refroidissement du mercure et l'étanchéité des boîtes d'extrémité de la cellule est envoyée dans un réservoir de recirculation. L'eau provenant de ce réservoir est refroidie et recyclée dans le système. Un circuit de purge pour l'eau de lavage de la cellule permet d'empêcher l'accumulation d'impuretés (l'eau sert à laver et à refroidir les cellules mises hors service). Cette eau de lavage, qui renferme du mercure et de la saumure, est recueillie et réutilisée ou renvoyée dans le circuit de la saumure.

Les liquides contaminés par du mercure et qui ne sont pas réutilisés ou recyclés (par exemple, l'eau de lavage du plancher, certains condensats, etc.) sont recueillis et traités. Le système de traitement comprend les éléments suivants:

- réservoirs-tampons,
- réservoirs pour le traitement, où le pH est ajusté, le chlore détruit et de l'hydrogénosulfure de sodium ajouté pour obtenir un précipité de HgS,
- filtre,
- adsorbeur au charbon actif.

Les matières solides de sulfure de mercure sont mélangées avec les matières solides du traitement de la saumure avant l'étape de lixiviation à l'hypochlorite de sodium. Comme on l'a déjà mentionné, ces matières solides une fois traitées sont enfouies dans une décharge autorisée.

Les eaux usées à faible teneur en mercure sont évacuées sans traitement. Ces eaux usées comprennent par exemple les liquides suivants:

- acide sulfurique résiduel,
- condensats chlorés divers,
- effluents de la chaudière et du traitement à l'eau déminéralisée,
- certaines eaux de refroidissement à surface et l'eau de purge de la tour de
- refroidissement,
- eaux usées des aires de liquéfaction et de stockage du chlore, des aires d'entretien et de la zone de chargement de la solution caustique,
- eaux pluviales,
- effluent domestique.

À remarquer que ces eaux usées, tout comme les effluents traités pour en éliminer le mercure, sont surveillées 24 heures sur 24. Le tableau 2 présente les informations existantes sur les déversements de polluants classiques par cette usine.

TABLEAU 2 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DES EFFLUENTS DE L'USINE Nº 1 ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

	Effluent du procédé				Effluent domestique				Eaux pluviales			
Paramètre	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)
Débit (m^3/d)**		25 000				100*				23*		
pH**	19	10,2	1,5-12		20	11,3	9,2-11,9		25	9,5	7,9-11,5	
Mat. sol. totales	2	760	660-860	122,6	1	7 400		4,8		820		0,12
Mat. en suspension	6	143	13-310	23	1	3 000		1,9	1	10		0,001
Mat. dissoutes	3	650	600-770	104,8	1	4 400		2,8	1	810		0,12
ATK	6	2,2	0-11,2	0,35								
P total	3	0,03		0,005								
Sulfates	2	160		25,8	1	490		0,3	1	101		0,015
Chlorures	3	195	88-248	31,5	1	3 700		2,4	1	300		0,04
Sodium (Na)	3	365	205-480	58,9	1	2 380		1,5	1	185		0,03
Calcium (Ca)	3	33	30-36	5,3	1	40		0,03	1	73		0,01
Fer (Fe)	3	0,43	0,3-0,6	0,07	1	0,40		0,000 3	1	0,04		0,000 006
Mg	3	14,5	12-16	2,34	1	21		0,013	1	20		0,003
K	3	2,5		0,40	1	7		0,005	1	3,6		0,000 5
Al	3	< 1			1	0,8		0,000 5	1	< 0,25		
R Cl_2	23	30	0-2 000	4,8	320	0	0		320	0		
Conductivité (µ mho/cm)					14	5 500	1 700-8 000		8	12 000	1 888-70 000	
Hg	730	0,005	0,001-0,082	0,000 8	39	0,39	0,03-1,05	0,000 3	39	0,02	0,001-0,325	0,000 003
Cr	3	< 05			1	0,02		0,000 01	1	< 01		
Cu	3	0,06	0,02-0,13	0,010	1	0,05		0,000 03	1	< 01		
Ni	3	0,01		0,002	1	0,13		0,000 08	1	0,02		0,000 03
Pb	3	< 02			1	< 01			1	< 01		
Cd	3	< 01			1	0,02		0,000 01	1	< 01		
Zn	3	3	0,03-9	0,48	1	0,10		0,000 06	1	0,02		0,000 03
Mn					1	0,25		0,000 2	1	0,10		0,000 01

* Pour la période échantillonnée.
** Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

2.3.2.2 USINE N° 2. - À l'usine n° 2, les saumures de sodium et de potassium servent toutes deux à la production d'hydroxyde de sodium et d'hydroxyde de potassium. À quelques exceptions près, les deux procédés sont identiques. En plus du chlore et de deux types de solutions caustiques, l'usine produit également de l'acide chlorhydrique, de l'hydrogène et de l'hypochlorite de sodium.

La saumure épuisée provenant des cellules est envoyée dans le saturateur, où l'addition de sel gemme permet d'augmenter la concentration du sel à 25 %. Le dépôt de matières solides (principalement de l'anhydrite) dans le saturateur est évacué, à chaque changement d'équipe, dans un puits incliné. La saumure décantée à partir du puits est renvoyée dans le circuit de saumure. Les matières solides sont ultérieurement déchargées dans une aire d'élimination sur le terrain de l'usine. La saumure saturée passe dans un réservoir d'où elle est pompée vers un déchlorateur, puis dans une cuve de réaction, où l'addition de solution caustique et de carbonate de sodium anhydre permet de précipiter le calcium, le magnésium, les sulfates, le fer et d'autres impuretés mineures dans deux clarificateurs. Le sous-écoulement des clarificateurs est normalement filtré. Le filtrat est recyclé dans le circuit de la saumure, et les matières solides sont déversées dans l'aire de décharge des boues de l'usine. Lorsque le filtre est hors service, les matières solides du traitement de la saumure sont envoyées dans un étang à boues. Ces dernières sont déversées tous les deux ans dans une aire de décharge de l'usine. À la sortie du clarificateur, la saumure s'écoule dans un refroidisseur direct à l'air, puis dans les réservoirs de stockage de saumure, avant d'entrer dans les cellules. Toutes les fuites provenant des pompes à saumure, le trop-plein des réservoirs, les liquides de nettoyage de l'équipement et les purges de la saumure dans la salle des cellules sont dirigés vers le réservoir de traitement en vue de la récupération du mercure.

Le circuit de la saumure de KCl est légèrement différent, bien qu'il soit basé sur les mêmes principes. La saumure épuisée, après déchloration et neutralisation, est envoyée dans un système à dissoudre, où on ajoute du KCl solide obtenu par évaporation. L'addition de potasse et d'une saumure de carbonate permet de précipiter les impuretés présentes dans la saumure saturée de KCl, qui est ensuite dirigée vers un clarificateur. Le trop-plein du clarificateur est pompé dans un réservoir de tête, d'où la saumure s'écoule par gravité jusqu'aux cellules. Les boues du clarificateur sont pompées dans un étang à boues sur le terrain de l'usine. Tout déversement accidentel ou fuite de saumure sont envoyés dans le système d'élimination du mercure.

Le chlore gazeux, chaud et humide, provenant des cellules et du réservoir à saumure, est initialement refroidi dans un échangeur de chaleur refroidi à l'eau. Le

condensat de chlore est renvoyé au saturateur, et l'eau de refroidissement est recyclée dans la tour de refroidissement. Le chlore passe dans un désembueur, puis à travers un ensemble de tours de séchage à H_2SO_4 disposées en groupes de 6 (2 x 3), suivi d'un compresseur, d'un désembueur York et d'un réfrigérateur au Fréon. Le chlore liquide est stocké, alors que la fraction gazeuse restante passe à travers un désembueur avant d'être dirigée vers l'usine de HCl. L'acide sulfurique faible, retiré de la première tour de séchage, est envoyé à une autre usine où il est réutilisé.

L'acide chlorhydrique est produit en brûlant le chlore résiduel dans un léger excès d'hydrogène. L'acide à l'état gazeux passe dans une tour de ruissellement, où il est absorbé par de l'eau. Les fuites de HCl sont traitées dans une tour à calcaire, avant d'être évacuées dans l'égout.

Dans le décomposeur, l'amalgame de sodium-mercure, au contact de l'eau douce, est décomposé en donnant un produit caustique, de l'hydrogène et du mercure. Ce dernier est renvoyé par pompage à l'entrée de la cellule. L'addition d'eau douce est réglée de façon qu'il se forme une solution caustique à 50 %. L'eau douce joue également le rôle de fluide d'étanchéité à l'entrée du décomposeur. La solution caustique passe du décomposeur dans un réservoir. De là, elle est pompée dans un filtre où les impuretés sont retenues. Habituellement, les teneurs en mercure de la solution caustique non filtrée varient de 2 mg/l à 10 mg/l, et dans la solution filtrée de 0,2 mg/l à 0,5 mg/l. La solution caustique filtrée est envoyée dans des réservoirs de stockage. La boue du filtre passe dans un réservoir de décantation, d'où le liquide surnageant est recyclé jusqu'au réservoir qui reçoit la solution caustique. Les matières solides séparées sont traitées à la cornue pour en récupérer le mercure. Les effluents provenant des drains de plancher des aires de réception de la solution caustique et des réservoirs de stockage, ainsi que de la section de chargement de la solution caustique, les fuites aux pompes etc. sont soit recyclés, soit envoyés dans le réservoir du système de récupération du mercure.

L'hydrogène gazeux chaud sortant du décomposeur est initialement refroidi dans les refroidisseurs individuels à refroidissement indirect à l'eau. Le mercure condensé et le condensat retournent dans les décomposeurs. L'eau de refroidissement est réutilisée dans la tour de refroidissement. L'hydrogène est encore davantage refroidi dans une tour de ruissellement avec contact direct utilisant de l'eau douce. L'eau de refroidissement est renvoyée vers le réservoir de tête d'eau douce, à partir duquel sont alimentés les décomposeurs. Un troisième échangeur de chaleur au Fréon, à refroidissement à surface, abaisse encore la température de l'hydrogène jusqu'à 5 °C environ, avant le passage du gaz

dans un dispositif désembueur. Une partie de l'hydrogène gazeux sert à produire du HCl; une deuxième partie est utilisée dans un incinérateur d'usine de bisulfure de carbone voisin; une troisième va dans la cornue à mercure; enfin, le reste est évacué dans l'atmosphère.

En outre, un système de ventilation sur les boîtes d'extrémité de la cellule et sur les décomposeurs empêche l'émission de gaz contaminés par le mercure dans la salle de cellules. Ces gaz sont traités dans un échangeur de chaleur au Fréon, à refroidissement à surface, et dans un désembueur. Le condensat provenant de ce système s'écoule dans le réservoir d'alimentation en eau douce du décomposeur.

Les boues riches en mercure sont traitées à la cornue pour en récupérer le mercure. Les vapeurs chargées de mercure sont condensées, et le mercure est piégé dans des pots à eau. La vapeur d'eau qui se condense dans le système est envoyée dans le circuit de récupération du mercure. L'eau de refroidissement provenant du condenseur s'écoule dans l'égout. Les matières solides du traitement à la cornue, qui renferment environ 10 ppm de mercure, sont déversées dans une décharge.

Tous les résidus liquides contaminés par le mercure, y compris l'effluent de l'étang à boues, sont envoyés dans un système de traitement. Ces résidus liquides, totalisant entre 13,5 m^3 et 31,8 m^3 par jour, sont pompés dans un réservoir de stockage de 80 m^3. Le contenu de ce réservoir s'écoule à raison de 90 l/mn dans un réacteur de 1,4 m^3. Le pH des eaux usées dans le réacteur est ajusté à une valeur comprise entre 6 et 8, avant l'addition d'hydrosulfure de sodium et de sulfate ferreux. L'eau traitée est pompée dans un décanteur de 15 m^3, dont le trop-plein s'écoule dans un filtre à sable, suivi d'un filtre à charbon actif, avant son déversement final dans l'égout de l'usine.

Les matières solides séparées dans le décanteur sont stockées dans un réservoir à boues. Celles-ci sont ultérieurement filtrées, et la fraction liquide est recyclée dans le réservoir de stockage, alors que les matières solides sont transférées dans le réservoir de la cornue pour en récupérer le mercure. L'eau de lavage à contre-courant du filtre de sable et du filtre à charbon actif est envoyée dans le réservoir de stockage des boues. Le charbon du filtre est remplacé régulièrement, et le mercure, récupéré.

Les eaux usées à faible teneur en mercure, comme l'eau de purge de la tour de refroidissement, certaines eaux de refroidissement des échangeurs de chaleur à surface, par exemple l'eau de la cornue, l'eau de lavage à contre-courant de l'adoucisseur d'eau, les effluents du laboratoire, l'eau de drainage du toit, certaines eaux d'étanchéité, toute la saumure provenant de la destruction de l'hypochlorite, ainsi que les eaux usées de l'usine

de chlore et d'hypochlorite sont déversées sans traitement. Comme il a été mentionné précédemment, les eaux usées de la section du HCl passent à travers une tour de pierre à chaux.

Les eaux usées combinées provenant de l'usine passent dans un débitmètre et un échantillonneur automatique.

Les effluents domestiques sont évacués dans l'égout domestique municipal.

Le tableau 3 présente les teneurs et les charges en polluants classiques des divers circuits échantillonnés de cette usine.

2.3.2.3 USINE N° 3. - À l'usine n° 3, le sel produit par évaporation au soleil est dissous dans la saumure épuisée recyclée. La saumure saturée, qui renferme maintenant des impuretés comme le calcium, le sulfate de magnésium, et d'autres impuretés de moindre importance, est purifiée par addition de carbonate de sodium, de soude et d'un agent floculant. Le produit précipité passe du clarificateur dans un réservoir de traitement des boues. La solution de saumure, provenant du trop-plein du clarificateur, est chauffée et dirigée vers les cellules à mercure.

L'eau utilisée pour le refroidissement du mercure et l'étanchéité de la boîte d'extrémité d'entrée de la cellule et du réservoir de la pompe à mercure, est dirigée vers un réservoir de recirculation. L'eau de ce dernier est refroidie et recyclée jusqu'à la boîte d'extrémité d'entrée. Un circuit de purge alimente en permanence le décomposeur. L'eau de refroidissement provenant des boîtes d'extrémité de sortie est refroidie et recyclée. En raison de l'accumulation de NaCl, un circuit amène l'eau de purge vers le système d'élimination du mercure. De plus, les écoulements contaminés par le mercure sont recueillis et traités avec du sulfure de sodium, puis filtrés. Ces écoulements comprennent: l'eau utilisée pour le lavage de planchers des cellules, le condensat du refroidisseur d'hydrogène, l'eau de lavage à contre-courant des filtres de la solution caustique, les fuites de saumure, l'effluent du laboratoire, l'eau de lavage provenant de la section de remise à neuf des cellules, enfin, l'évacuation de la saumure. Le filtrat est évacué dans l'égout. La teneur en mercure dans l'égout est surveillée grâce à un dispositif de mesure en direct de Hg, installé dans le circuit. Le gâteau de filtration (HgS) est traité avec une solution d'hypochlorite dont le pH est ajusté. Le mercure est dissous; la solution est filtrée pour séparer les matières solides; le filtrat est recyclé dans le circuit de saumure épuisée. Les matières solides sont mélangées avec du sable dans un rapport de 4/6 et déversées dans une décharge garnie de matières plastiques.

Le chlore gazeux chaud et humide provenant des cellules est refroidi dans un refroidisseur à surface, puis il passe dans un désembueur, dans des tours de séchage, dans

TABLEAU 3 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DE L'EFFLUENT DE L'USINE Nº 2 ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

	Effluent final				
Paramètre	Alim. en eau (mg/l)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)
Débit (m^3/d)*			1 715		
pH*	6,0	11	7,0	5,0-8,5	
Mat. sol. totales	180	11	1 810	1 100-3 480	25
Mat. en suspension	< 1	11	21	5-47	0,28
Alcalinité ($CaCO_3$)	70	3	60	51-65	
NH_3/N	0,1	3	0,2		0,003
ATK	0,4	3	0,9	0,2-2,1	0,012
P total	0,1	3	< 0,1		
Sulfate (SO_4)	27	5	115	100-140	1,6
Sulfures (S)	0,1	3	< 0,1		
Chlorures	28	11	720	400-1 550	7,1
Sodium (Na)	64	5	500	250-880	6,9
Calcium (Ca)	36	5	55	47-60	0,7
Fer (Fe)	0,1	3	1,2	0,6-2,3	0,016
Fluorures	0,5	3	0,52	0,48-0,55	0,007
Magnésium	7,8	3	7,6	6,6-9,4	0,10
Potassium	3,4	3	106	94-112	1,45
Baryum	0,023	3	0,04	0,02-0,05	0,000 5
Aluminium	0,06	3	0,07	0,07-0,08	0,001 0
Étain	0,026	3	0,023		0,000 3
Chrome	< 0,01	3	< 0,01		
Manganèse	0,01	3	0,04		0,000 5
Plomb	< 0,01	3	< 0,01		
Zinc	0,27	3	0,15		0,002
Thallium	0,01	3	0,03		0,000 4
Cobalt	0,01	3	0,02		0,000 3
Molybdène	0,009	3	0,028		0,000 4
Mercure		360	0,034	0,009-0,279	0,000 4
Cadmium		1	< 0,05		
Cuivre		1	< 0,10		
Nickel		1	< 0,20		

* Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

un autre désembueur, et enfin dans des compresseurs et des appareils de liquéfaction. Le condensat des refroidisseurs et du premier désembueur est envoyé dans un épuiseur. L'addition de vapeur et de H_2SO_4 usé dans l'épuiseur permet de séparer le chlore gazeux, lequel est recyclé dans le circuit de chlore. Les eaux usées de l'épurateur s'écoulent dans l'égout.

Le chlore gazeux non condensé provenant de la liquéfaction et de wagons-citernes (à leur retour) sert à la production d'acide muriatique ou est purifié à l'aide d'hydroxyde de sodium et sert à produire de l'hypochlorite de sodium. Cet hypochlorite est décomposé en présence d'un catalyseur au fer. La solution à environ 25 % de sel est évacuée avec l'eau de mer utilisée pour le refroidissement.

À mesure qu'il quitte les décomposeurs, l'hydrogène gazeux est saturé de mercure et de vapeur d'eau. Cet hydrogène gazeux passe dans les unités suivantes: refroidisseurs primaires individuels, refroidisseur secondaire, compresseur, désembueur, système de tamis moléculaire. Une partie de l'hydrogène gazeux sert à la production d'acide chlorhydrique, le reste étant évacué dans l'atmosphère. Le condensat provenant des refroidisseurs primaires retourne aux décomposeurs. Le condensat du refroidisseur secondaire et du désembueur est envoyé dans le système de traitement de l'effluent.

Les unités de production de HCl comprennent un brûleur et deux tours d'absorption en série. Les gaz de queue passent dans un épurateur à eau et, finalement, dans un épurateur à soude. L'effluent du premier épurateur et l'eau de refroidissement sont déversés directement dans l'étang de stabilisation pour traitement.

La soude provenant du décomposeur est filtrée pour enlever ses impuretés, refroidie et envoyée au stockage. L'eau de lavage à contre-courant du filtre s'écoule dans le système de traitement de l'effluent. S'il y a déversement accidentel de soude, celle-ci est récupérée ou traitée dans le système de traitement de l'effluent.

L'eau de purge de la chaudière renfermant des sulfates, des phosphates, de la silice, du fer et des carbonates est envoyée dans l'étang de stockage.

Tous les vieux tuyaux, corps de pompes, etc. sont décontaminés et envoyés au dépôt de déchets.

L'effluent domestique s'écoule dans une fosse septique avec élément épurateur.

Les eaux de pluie sont recueillies et traitées pour en éliminer le mercure.

Le plancher et les canalisations de la salle des cellules ont été reconstruits et revêtus d'un agent d'étanchéité. Les planchers datant de 1978-1979, sous l'aire des cellules, ont été remis en état et scellés pour réduire les pertes de mercure dans le sol.

L'ancien plancher a été enlevé et réduit en morceaux, traités à la cornue pour récupérer le mercure.

Tous les effluents liquides de cette usine, y compris les eaux usées traitées pour en enlever le mercure, l'eau de refroidissement, les effluents de procédé non contaminés par le mercure et les eaux de pluie, s'écoulent dans un étang de stabilisation où elles séjournent vingt-quatre heures. L'étang permet non seulement de réduire la quantité déversée de chlore et de matières solides en suspension, mais également d'atténuer les fluctuations de pH. Le tableau 4 présente les teneurs et les charges en polluants classiques des circuits échantillonnés.

2.3.2.4 USINE N° 4. - À l'usine n° 4, les impuretés constituées de sulfate de calcium provenant du sel gemme ainsi que le $CaCO_3$ et le $Mg(OH)_2$ précipités à partir de la saumure lors de sa purification sont entraînés par lavage hors des saturateurs et se déposent dans un puits. La saumure en trop s'écoule dans un second puits, où elle peut être soit recyclée, soit transférée par pompage dans un grand étang sans revêtement. Les boues du puits sont soit transportées en camion jusqu'à une aire d'assèchement. La saumure entraînée, qui renferme environ 2 mg/l à 5 mg/l de Hg, et l'eau de ruissellement provenant d'un collecteur de la même section, sont pompées dans le grand étang. À intervalles réguliers, une partie de l'eau usée de l'étang est siphonnée dans un étang de traitement plus petit, avec revêtement.

Environ 30 m^3/d à 45 m^3/d d'eaux usées contaminées par le mercure provenant de diverses sources s'écoulent dans le puits de saumure, d'où elles sont transférées dans le grand étang. Ces sources sont les suivantes: nettoyage des cellules, lavage du plancher, élimination du mercure, condensat du refroidisseur d'hydrogène, drains du circuit d'hydrogène et du système de ventilation, fuites et écoulement de saumure, drain du récepteur de solution caustique, nettoyage du plancher du sous-sol, etc. Tous ces liquides ne peuvent être ni recyclés directement dans le procédé ni réutilisés sans traitement préalable. Les eaux usées de l'étang sont régulièrement transférées dans un étang de traitement plus petit, muni d'un revêtement.

Les eaux usées combinées retenues dans l'étang (muni d'un revêtement) sont d'abord traitées avec du sulfite de sodium pour détruire le chlore libre ou l'hypochlorite de sodium qui pourraient être présents. Après ajustement du pH entre 6 et 7, l'addition de NaHS permet d'obtenir un précipité de HgS. On ajoute du sulfate ferreux pour éliminer tout excès de NaHS, ce qui évite la formation de composés de mercure solubles après celle de sulfure de mercure insoluble. Après décantation, le liquide surnageant relati-

TABLEAU 4 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DES EFFLUENTS DE L'USINE Nº 3 ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

	Effluent final				Effluent à l'étang				Eau de refroidissement (à l'entrée)			
	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)
Débit (m^3/d)*		27 736							4	7,5	6,7-7,9	
pH*	2 632	7,6	3,1-9,9		1 955	7,5	3,1-11,1		3*	29 333	26 900-31 100	
Mat. sol. totales	9	27 560	21 500-30 600		3*	28 567	25 600-31 100					
Mat. diss. totales	1	30 200	-						185	106,5	0-3 220	17,9
Mat. en suspension tot.	2 610	2,0	0-31,9	0,35	6	6,0	3-9	1,03				
Conductivité (µ mho/cm)	14	39 286	32 300-43 800		5	39 420	32 300-44 400		3	39 533	36 300-42 800	
O_2 diss.	17	10,2	8,4-11,8									
Cl_2 résiduel	2 523	0,02	0-4,7	0,003 5	1	0,1		0,017				
Dureté	6	4 764	4 070-5 602		3	4 795	4 195-5 668		3	4 911	4 092-6 113	
Sulfate	5	1 963	1 770-2 130	338	3	1 994	1 890-2 100	343,5	3	1 979	1 820-2 100	331,9
Sulfures	2 529	0,10	0-1	0,017	4	0,5	0,5	0,086	2	0,5		0,084
H_2O_2	2 503	0,13	0-3	0,022					3	327,7	272-437	55,0
Ca diss.	6	295,8	270-325	60,0	3	295,7	273-325	50,9	3	0,028	0,003-0,04	0,004 7
Cu total	6	0,025	0,004-0,05	0,004 3	1	0,003			3	0,6	0,3-1	0,10
Fe total	6	0,35	0,1-0,68	0,060	1	0,18			3	0,001		0,000 17
Pb total	6	0,001 3	0,001-0,003	0,000 2	1	0,001			3	994	828-1 220	166,7
Mg diss.	6	978	825-1 170	168,5	3	985,7	844-1 180	169,8	2	0,000 07		
Hg diss.	3	0,000 9	-	0,000 16					81	0,000 15	0,000 05-0,000 2	0,000 07
Hg total	2 612	0,003	0,000 1-0,075	0,000 52	8	0,020	0,000 9-0,068	0,003 4	3	0,067	0,02-0,13	0,01
Zn total	5	0,035	0,005-0,08	0,006 0	1	0,005						

* L'eau de refroidissement est de l'eau de mer.
** Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

vement clair, qui renferme encore à peu près 0,3 mg/l de Hg, passe dans un filtre de sable. Cet effluent traité, qui contient approximativement 0,1 mg/l de Hg, est combiné avec d'autres effluents exempts de mercure, passe par un débitmètre et un échantillonneur fonctionnant en continu, puis est évacué dans l'égout.

L'effluent de l'épurateur des gaz de queue (hypochlorite de sodium), issu de la solution caustique filtrée, est décomposé en présence de chlorure de fer et de nickel servant de catalyseurs. La solution, renfermant surtout du NaCl, est ensuite évacuée avec d'autres eaux usées vers l'égout.

Le H_2SO_4 usé sert en partie à ajuster le pH. Le reste est expédié à une autre usine où il est réutilisé.

Le condensat de chlore est recyclé dans le circuit de la saumure ou évacué vers le bassin de traitement, si le niveau d'eau le permet.

Les boues de lavage à contre-courant du filtre du produit caustique sont déshydratées. Les eaux usées sont dirigées vers le circuit d'élimination du mercure, et les boues sont mises de côté et traitées à la cornue.

Les effluents neutres, qui sont exempts de mercure (par exemple l'eau de refroidissement, l'eau de purge de la chaudière, l'eau de lavage du plancher des sections les plus propres, l'eau s'écoulant par les drains du laboratoire, l'eau de lavage à contre-courant de l'adoucisseur d'eau, la purge de la tour de refroidissement, le trop-plein de la fosse septique), quittent l'usine sans traitement en passant par le débitmètre.

Les effluents exempts de mercure, mais qui contiennent d'autres substances chimiques, sont recueillis, partiellement neutralisés, et évacués hors de l'usine avec d'autres eaux usées. Ces effluents proviennent du trop-plein du réservoir de stockage de HCl, des ventilateurs des gaz résiduels, des drains du plancher - aires du HCl et de l'hypo, refroidissement du brûleur pour HCl - y compris l'eau de l'éjecteur, de la section de pesée des camions et wagons et de l'aire de séchage du chlore.

Les eaux de surface et les eaux de pluie des zones extérieures à l'usine s'écoulent en dehors du terrain de l'usine. Les eaux de pluie de la majeure partie des aires contaminées sont recueillies et traitées pour en éliminer le mercure.

Le tableau 5 présente l'information existante sur les déversements de polluants classiques par cette usine.

2.3.2.5 USINE N° 5. - À l'usine n° 5, les sous-écoulements provenant du saturateur et du clarificateur de la saumure passent respectivement dans un puits en ciment en pente et dans un contenant. Les matières solides et la saumure entraînée sont transportées à l'aide

TABLEAU 5 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DE L'EFFLUENT DE L'USINE Nº 4 ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

	Effluent final			
Paramètre	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)
Débit* (m^3/d)		620		
pH*	30	7,0	1,8-11,1	
Mat. sol. totales	6	7 750	2 200-12 000	51,0
Mat. en suspension	7	29	10-55	0-19
Dureté	28	240	130-775	
Chlorures	7	4 300	1 500-7 700	28,4
Sulfates	1	375		2,5
Chlore rés. total	1	70		
Fe	36	0,46	0,09-1,88	0,003
Cu	37	0,005	0,001-0,053	0,000 03
Pb	31	0,004	0,001-0,040	0,000 03
Zn	36	0,009	0,001-0,104	0,000 06
Hg	300	0,041	0,02-0,20	0,000 27
Cd		0,02		
Cr	1	0,01		
Co	1	0,02		
Mg	1	3,83		
Ni	1	0,08		
V	1	0,02		

* Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

d'une benne preneuse jusqu'à une aire d'assèchement des boues. La saumure, qui renferme un peu de mercure soluble, et l'eau de ruissellement provenant de cette aire, s'écoulent dans un étang sans revêtement. À intervalles réguliers, les eaux usées de cet étang sont pompées dans un étang de traitement.

Les eaux usées combinées dans l'étang de traitement sont d'abord additionnées de thiosulfate de sodium pour détruire tout hypochlorite de sodium ou chlore libre. Le pH est ensuite ajusté entre 6 et 8,5, après quoi l'addition de NaHS permet d'obtenir un

précipité de HgS. En outre, l'addition de sulfate ferreux permet d'éliminer tout excès d'hydrosulfure de sodium, ce qui évite la formation de composés solubles de mercure, après celle de sulfure de mercure insoluble. Après trois jours de décantation, des échantillons sont prélevés pour vérifier que les matières solides précipitées se sont bien déposées. Le liquide clair surnageant est pompé dans l'égout après être passé dans un déversoir-débitmètre et un échantillonneur. La boue de sulfure mercurique produite est stockée dans trois bassins de traitement, munis de revêtements.

Les résidus du déioniseur, l'eau de refroidissement non recirculée, l'eau des drains du laboratoire, les eaux usées ayant servi à l'entretien des sections non contaminées rejoignent le trop-plein de la fosse septique et sont évacuées séparément après passage dans un débitmètre et un échantillonneur.

L'effluent (hypochlorite) de l'épurateur des gaz de queue est déversé dans l'unité de traitement de l'effluent d'une usine de pâtes et papiers voisine.

Le H_2SO_4 usé est employé à l'usine pour l'ajustement du pH ou transféré dans une autre usine pour être réutilisé.

Les condensats (de chlore et du refroidisseur d'hydrogène) sont réintroduits dans le circuit de la saumure.

Les boues de lavage à contre-courant du filtre pour le produit caustique sont déshydratées et recyclées dans le circuit de solution caustique. La boue de mercure est stockée sur place dans des barils en matière plastique en vue de la récupération future du mercure.

Les eaux de pluie, celles de la purge de la tour de refroidissement et le trop-plein du réservoir de saumure sont recueillis dans un fossé de stockage. Si la teneur en mercure de ces eaux usées est élevée, l'effluent est envoyé dans l'étang de traitement. Dans le cas contraire, les eaux usées sont mélangées avec l'effluent traité, et évacuées après passage par un débitmètre et un échantillonneur.

Le tableau 6 présente les informations existantes sur les déversements de polluants classiques par cette usine.

2.4 Polluants prioritaires[1] et tests biologiques - Méthodes

2.4.1 Polluants prioritaires. - L'EPA (Environmental Protection Agency) des États-Unis a dressé une liste de 129 polluants prioritaires (voir tableau 1, annexe A) dans les usines équipées de cellules à mercure, grâce à des programmes d'échantillonnage et

1. Les polluants prioritaires mentionnés dans le présent rapport sont ceux figurant sur la liste de l'EPA présentée à l'annexe A.

TABLEAU 6 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DES EFFLUENTS DE L'USINE Nº 5 ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

Paramètre	Eau d'alimentation		Eau de refroidissement		Effluent traité			
	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/1000 kg)
Débit (m^3/d)*	1					460		
pH*	1	6,8	1	6,6	15	5,5	2,7-13,2	
Matières solides totales	1	100	1	170	15	30 200	4 300-63 700	230
Matières en suspension	1	< 5	1	< 5	16	41	3-120	0,3
Chlorures	1	12	1	44	1	9 200		70,5
Sodium	1	11	1	41	1	12 700		97,3
Sulfate	1	19	1	14	1	7 900		60,5
Calcium	1	5	1	8	1	131		1,[illegible]
Magnésium	1	1,2	1	1,6	16	2,4	1,1-3,2	0,02
Teneur en oxygène total	1	6		-	1	235		
Sulfures		-	1	< 0,15	1	< 0,15		
Zinc		-		-	16	0,05	0,002-0,21	0,000 4
Cuivre		-		-	16	0,07	0,002-0,65	0,000 5
Fer		-		-	15	0,65	0,21-2,2	0,005
Plomb		-		-	12	0,006	0,002-0,011	0,000 05
PO_4		-		-	1	0,46		0,003
Mercure	1	0,002	1	0,057	90	0,035	0,007-0,049	0,000 27
Cr					1	0,23		
Li					1	0,07		

* Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

d'analyse. Le tableau 7 présente un résumé de l'information ainsi recueillie. Aucun composé organique toxique n'a été décelé à une teneur significative.

> L'expression "teneur significative" correspond, selon la terminologie de l'EPA, à une teneur mesurée dans un échantillon mixte de 24 ou 72 heures, qui est supérieure à la limite de détection analytique, et qui peut être soumise à un traitement par une méthode connue, quel qu'en soit le coût.

Au Canada, la présence de l'un quelconque des 129 polluants prioritaires figurant sur la liste, dans les effluents finals d'usines équipées de cellules à mercure, a été vérifiée en prélevant des échantillons dans trois des cinq usines en exploitation. La méthode suivie a été celle décrite dans *Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants: Proposed Regulations*, directives publiées au U.S. Federal Register, le 3 décembre 1979[2]. L'information découle des analyses chimiques et des mesures de débit des effluents finals représentatifs de ces usines.

2.4.1.1 MÉTAUX. - Lors de l'étude de 1981 et des mesures effectuées ces cinq dernières années par les organismes gouvernementaux et le personnel des compagnies, on a prélevé des échantillons mixtes de 24 heures d'effluents finals.

Les analyses des métaux se font facilement par spectroscopie d'absorption atomique ou par spectrophotométrie d'émission optique à couple induit argon-plasma. Le mercure est habituellement dosé en utilisant la technique automatisée de la vapeur froide. Le tableau 8 présente les métaux prioritaires décelés dans les effluents finals d'une usine équipée de cellules à mercure.

2.4.1.2 POLLUANTS ORGANIQUES. - Des échantillons composés de 24 heures, de l'eau d'alimentation et de l'effluent final de l'usine ont été prélevés quotidiennement pendant l'étude d'une durée normale de 3 jours, dans chacune des trois usines faisant partie du programme. Ces échantillons ont été refroidis à 4 °C aussi rapidement que possible, puis expédiés au Laboratoire de River Road du S.P.E. à Ottawa. Dès leur arrivée au laboratoire, les échantillons ont été soumis à des extractions par des méthodes normalisées, puis entreposés à 2 °C-4 °C en attendant d'être analysés.

Au Laboratoire de River Road, les fractions de substances organiques volatiles ont été traitées par la méthode de purge-captage, suivie de chromatographie en phase gazeuse, avec colonne à garnissage. Les teneurs ont été quantifiées par comparaison avec des étalons.

Les fractions basique, neutre et acide ont été analysées par des méthodes d'extraction liquide-liquide, suivies de chromatographie en phase gazeuse, avec colonne

TABLEAU 7 TENEURS EN POLLUANTS TOXIQUES DES EFFLUENTS D'USINES[1] (ÉTATS-UNIS) LORS DE VÉRIFICATIONS DE LEUR QUALITÉ

Sous-catégorie	Chlore (cellules à mercures)					
	Teneurs (mg/l) dans l'effluent de l'usine					
	USINE					
Polluant	N° 299	N° 747	N° 317	N° 106	N° 167	Moy.
Antimoine	0,15	< 0,25	< 0,25	< 0,45	< 0,65	< 0,23
Arsenic	0,063	< 0,010	< 0,020	< 0,005	0,38	< 0,096
Cadmium	0,073	0,120	< 0,025	< 0,016	0,010	< 0,050
Chrome	< 0,06	< 0,05	< 0,05	< 0,01	< 0,050	< 0,044
Cuivre	0,038	< 0,025	< 0,030	0,043	< 0,025	< 0,033
Plomb	< 0,050	0,073	0,170	0,38	0,12	< 0,16
Mercure	0,029	0,10	0,19	< 0,000 5	0,32	< 0,13
Nickel	< 0,050	< 0,050	< 0,067	0,140	< 0,050	< 0,074
Argent	< 0,015	< 0,015	< 0,015	0,260	< 0,105	< 0,067
Thallium	0,20	< 0,045	< 0,25	0,26	0,090	< 0,17
Zinc	0,100	< 0,025	0,510	0,088	< 0,025	< 0,15

	USINE					
Polluant	N° 207	N° 014	N° 819	N° 747	N° 106	N° 589
Chlore résiduel (kg/1000 kg)	0,33	0,04	Pas détecté	0,002	0,001	0,003

Remarque: Les résultats des analyses d'effluents traités correspondent au rendement obtenu par l'usine pendant les trois jours d'échantillonnage. Les données relatives aux polluants toxiques, dont les concentrations dans les résidus bruts dépassaient la capacité de traitement de l'usine, sont résumées ci-dessus. Les résultats présentés proviennent de quatre usines employant la méthode BPT (précipitation sous forme de sulfure, suivie de filtration). Les résultats de l'échantillonnage à une cinquième usine, n° 299, reflètent la qualité de l'effluent avant la filtration.

TABLEAU 8 RÉSUMÉ DES TENEURS ET CHARGES EN MÉTAUX PRIORITAIRES DES EFFLUENTS FINALS D'USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE

Polluant	Teneur (mg/l)		Charge quotidienne (kg/d)		Charge unitaire (kg/1000 kg)		Normes proposées par l'EPA* (moyenne de 24 h)		
	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Moyenne	Maximum	Vie aquatique en eau douce (µg/l)	Vie aquatique en eau salée (µg/l)	Santé humaine (µg/l)
Cadmium	< 0,01	< 0,01	< 0,006	< 0,010	< 0,000 04	< 0,000 05	0,012 (dureté de 50)	4,5	10
Chrome	< 0,03	< 0,05	< 0,06	< 0,60	< 0,000 8	< 0,004	0,29 (hexavalent)	18	50 (hexavalent)
Cuivre	0,029	0,06	0,45	1,32	0,002 3	0,006	5,6	4,0	Absence de données
Plomb	0,005	0,010	0,058	0,20	0,000 27	0,001 0	0,75 (dureté de 50)	25 (chronique)	50
Mercure	0,023	0,041	0,066	0,11	0,000 42	0,000 6	0,000 57	0,025	0,144
Nickel	0,015	0,02	0,130	0,22	0,000 70	0,001 4	56	7,1	13,4
Zinc	0,063	0,15	0,41	1,22	0,002 5	0,007	47	58	Absence de données

* Extraites des rapports *Ambient Water Quality Criteria* de l'EPA.

capillaire à haute résolution. Ce type de colonne est considéré comme étant supérieur à la colonne à garnissage mentionnée plus haut. Les fractions basiques-neutres ont été quantifiées par comparaison avec des étalons, et les valeurs obtenues ont été vérifiées au spectromètre de masse, associé à un système informatisé contenant les informations relatives à plus de 30 000 composés. Le tableau 9 présente les teneurs en polluants organiques prioritaires, décelées dans l'effluent final des usines équipées de cellules à mercure.

2.4.2 Tests de toxicité pour la vie aquatique. - À l'une des usines, un volumineux échantillon mixte de 24 h d'effluent final a été recueilli pour des tests de toxicité létale aiguë. Il existe des méthodes d'essai pour évaluer les effets toxiques de substances chimiques sur la vie aquatique. Les deux types de tests les plus courants sont les suivants:

2.4.2.1 TESTS DE TOXICITÉ LÉTALE AIGUË. - Ces tests donnent généralement des courbes teneurs-réponses rapides et reproductibles permettant de caractériser et d'évaluer les effets de produits chimiques sur les organismes aquatiques. C'est le moyen le plus pratique pour évaluer:

a) la toxicité relative de certains produits chimiques,

b) la limite supérieure de l'intervalle des teneurs pour lesquelles on observe des effets toxiques,

c) la sensibilité relative de différents organismes aquatiques à ces produits chimiques,

d) les effets de la qualité de l'eau sur la toxicité des produits chimiques,

et pour mieux comprendre tant la relation teneur-réponse que l'importance de la durée de l'exposition sur la toxicité.

L'évaluation de la toxicité par des tests de toxicité létale aiguë est généralement limitée par le fait que les résultats de ces tests ne fournissent habituellement aucune information sur les effets sublétaux ou cumulatifs.

2.4.2.2 TESTS DE TOXICITÉ CHRONIQUE. - Ces tests, qui permettent de mesurer les effets de l'exposition aux produits chimiques sur le processus de reproduction, sont utiles du fait que les observations empiriques correspondent à l'ensemble de tous les effets sublétaux importants (par exemple assimilation, métabolisme, etc.) sur les phénomènes de la vie, comme la croissance, la reproduction, la respiration, etc.

Les résultats de ces études, qui supposent généralement l'exposition des populations pendant un cycle de vie complet, fournissent une information empirique sur

TABLEAU 9 POLLUANTS ORGANIQUES PRIORITAIRES DÉCELÉS DANS L'EFFLUENT FINAL D'USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE; INTERVALLES DES TENEURS ET NORMES DE QUALITÉ DE L'EAU ENVIRONNANTE PROPOSÉES PAR L'EPA (États-Unis)

Paramètre	Teneurs décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Normes proposées par l'EPA*				
		Vie aquatique en eau douce (µg/l)		Vie aquatique en eau salée (µg/l)		Santé humaine
		Létalité aiguë	Toxicité chronique	Létalité aiguë	Toxicité chronique	Estimation
Chloroforme	T-410	28 900	1 240	-	-	
Tétrachlorure de carbone	T-24	35 200	-	50 000	-	
Dichloro-1,2 éthane	T-12	118 000	20 000	113 000	-	
Trichloroéthylène	T-72	45 000	-	2 000	-	
Bromodichlorométhane	T-28	11 000	-	12 000	6 400	
Trichloro-2,4,6 phénol	T-6	6 040	970	-	-	
Nitro-2 phénol	T-1	230	-	4 850	-	
Chloro-4-m-crésol	T-3	30	-	-	-	3 000
Toluène	T-2	17 500	-	6 300	5 000	14,3
Dichloro-1,1 éthylène	T-18	11 600	-	22 400	-	
Trichloro-1,1,1 éthane	T-94	18 000	9 400	31 200	-	18,4
Dichloro-1,2 propane	T	23 000	5 700	10 300	3 040	
Dichloro-1,3 propène (cis et trans)	T-4	6 060	24	790	-	87
Trichloro-1,1,2 éthane	T-14	18 000	9 400	31 200	-	
Dichlorométhane	T-55	224 000	-	-	-	
Phtalate de diéthyle	T-3	52 100	-	7 590	-	350 mg/l
Phtalate de dibutyle	T-16	940	-	-	-	34 mg/l
Phtalate de diéthyl-2 hexyle	T-4	11 100	< 3	-	-	15 mg/l
Dichloro-1,1 éthane	T	Pas de donnée				
Transdichloro-1,2 éthylène	0-23	11 600	-	224 000	-	
Éthylbenzène	T-1	32 000	-	430	-	1,4 mg/l
Dichloro-1,4 benzène	0-9	1 120	763	1 970	-	400 µg/l
Phénol	0-1	10 200	2 560	5 800	-	3,5 mg/l

* Données des rapports *Ambient Water Quality Criteria* de l'EPA.
T: traces.

les effets de l'exposition chronique chez l'espèce concernée; elles caractérisent les produits chimiques qui peuvent avoir un effet toxique cumulatif; elles permettent aussi d'évaluer les teneurs chroniques non dangereuses pour des espèces voisines et d'établir des normes de qualité de l'eau pour la protection de la vie aquatique.

L'EPA a établi des normes de qualité de l'eau pour un grand nombre de produits chimiques soumis individuellement aux tests. Des tests de toxicité, aiguë et chronique, ont été effectués pour évaluer leurs effets sur la vie aquatique, aussi bien en eau douce qu'en eau salée. Le tableau 9 présente les valeurs correspondant aux produits chimiques organiques décelés dans les effluents d'usines équipées de cellules à mercure.

Normalement, les effluents d'usines de produits chimiques contiennent diverses classes de substances en concentrations variables. Les tests de mélanges chimiquement complexes présentent une difficulté majeure: ces mélanges peuvent provoquer chez les organismes étudiés une réaction cumulative, antagoniste ou synergique.

En plus des échantillons prélevés pour faire leur analyse chimique et les tests de toxicité aquatique, des échantillons mixtes de 24 h, de cinq gallons chacun, des effluents finals des deux usines étudiées, furent recueillis et expédiés au Cancer Research Centre de Colombie-Britannique à Vancouver, pour évaluer la possibilité d'activité génotoxique.

2.4.3 Tests biologiques. - Pour établir avec une certitude absolue le degré de risque posé par un produit en particulier, il faudrait soumettre à des tests tous les organismes cibles potentiels et mesurer la réaction de chacun d'eux. Devant le grand nombre de mélanges complexes déversés dans l'environnement, il est évident que le coût de tels tests, aussi bien en temps qu'en argent, atteindrait des proportions démesurées. D'un autre côté, l'évaluation des risques potentiels, fondée sur la réaction d'une seule espèce à un mélange chimique, présente un niveau inacceptable de certitude et de confiance.

L'une des méthodes permettant d'améliorer le niveau de confiance consiste à utiliser une série de tests et à évaluer le degré de risque d'après le groupe de résultats obtenus avec ces systèmes. Ce groupe de systèmes devrait idéalement représenter un spectre aussi large que possible.

Il existe plusieurs tests biologiques *in vitro* à court terme, permettant de faire un pré-tamisage des produits chimiques pouvant avoir une activité cancérigène. Pour la présente étude, les méthodes qui suivent ont été retenues.

Chaque échantillon d'effluent brut a été soumis au test d'Ames (mesure du pouvoir mutagène avec des salmonella) pour connaître son activité mutagène.

L'extrait de chaque effluent a été préparé[5] et soumis à un test de mutagénicité pour déterminer sa capacité:

a) d'induire des mutations chez *Salmonella typhimurium* (test de mutagénèse avec salmonella);

b) d'induire des anomalies chromosomiques dans des cultures de cellules ovariennes de hamster à "queue de rat" (test d'aberrations chromosomiques);

c) d'infliger des dommages à l'ADN de cultures de fibroblastes humains (test de réparation de l'ADN);

d) d'inhiber l'activité réparatrice des dommages subis par l'ADN dans des cultures de fibroblastes humains (test d'inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN).

Les tests de cytotoxicité *in vitro* en sont encore à leurs tout débuts, particulièrement lorsqu'il s'agit de composantes environnementales complexes. Ces tests de mutagénicité chez les bactéries seraient moins concluants que les données épidémiologiques ou les résultats d'études à long terme sur des animaux vivants. C'est la raison pour laquelle les tests à court terme ne sont pas utilisés pour prouver de façon sûre qu'un produit chimique constitue un risque. Ils servent plutôt à montrer qu'un produit chimique pourrait éventuellement entraîner des effets génotoxiques. Un test d'Ames positif ne signifie pas nécessairement qu'un composé est cancérigène, alors qu'un résultat négatif n'écarte pas complètement cette possibilité. À ce stade-ci de la recherche, il faut éviter de sauter aux conclusions, particulièrement en ce qui concerne le risque relatif associé à des résultats négatifs. Cependant, des tests à court terme pourraient aider les chercheurs à établir au départ leurs priorités.

Pour plus de détails sur les produits et les méthodes utilisés dans la présente étude, on peut consulter le rapport *Biological Testing of Industrial and Municipal Effluents for Genetoxic Activity*[5].

2.5 Résultats et commentaires

2.5.1 Polluants classiques. - Les résultats figurant aux tableaux 2 à 6 montrent que le pH ainsi que la quantité de matières solides en suspension et de chlore résiduel dans l'effluent final déversé par les usines équipées de cellules à mercure doivent faire l'objet de mesures plus efficaces.

Normalement, le pH de l'effluent final se situe entre 6 et 9; mais il fluctue parfois entre 2 et 12. À l'une des usines, où l'effluent est retenu pendant 24 heures, le pH demeure relativement stable.

La teneur en matières solides en suspension provenant de ces usines est généralement faible, c'est-à-dire inférieure à 25 mg/l. Ceci est dû au fait que les matières solides du traitement de la saumure sont évacuées dans des aires de remblai ne présentant aucun risque, et que les effluents des procédés sont habituellement filtrés après la transformation du mercure en sulfure de mercure. La teneur peut, cependant, s'écarter des valeurs moyennes lorsque de l'équipement non contaminé au mercure est nettoyé, ou lorsque l'eau de purge de la chaudière ou de la tour de refroidissement est déversée sans décantation ou sans filtration.

La teneur en chlore résiduel de l'effluent final de la plupart de ces usines est normalement nulle mais peut occasionnellement devenir très élevée (100 ppm). En raison des effets désastreux sur l'environnement, causés par de fortes teneurs en chlore des eaux usées déversées[2], la déchloration s'impose. Le chlore résiduel qui subsiste après la récupération et (ou) la décomposition ainsi qu'après les étapes de recyclage mentionnées à la section 2.3.2 pourrait faire l'objet d'un traitement à l'aide d'agents réducteurs comme l'anhydride sulfureux ou le peroxyde d'hydrogène.

2.5.2 Polluants prioritaires et tests biologiques

2.5.2.1 MÉTAUX. - Le mercure est le métal toxique qui pose le plus de problèmes dans la production industrielle de chlore par le procédé utilisant des cellules à mercure. La quantité de mercure qu'une usine est autorisée à déverser relève du *Règlement sur le mercure des effluents de fabriques de chlore*(3).

---

2. *Remarque*: La toxicité aiguë des chloramines minérales et du chlore libre pour les poissons, mesurée par exposition continue pendant 96 h à une teneur constante, varie considérablement d'une espèce à l'autre, d'une taille à l'autre et d'un stade de la vie à l'autre chez la même espèce. Par exemple, des salmonidés adultes peuvent vivre sans problème en présence de teneurs de l'ordre de 0,050 mg/l, alors que la CL 50 pour le frai et les très jeunes saumoneaux se situe aux alentours de cette même valeur de 0,050 mg/l. Des effets chroniques sur la croissance et d'autres réactions des salmonidés peuvent être observés à des teneurs proches de 0,020 mg/l ou même moins. Les teneurs seuils de chloramines minérales, correspondant à 0,010 mg/l et 0,020 mg/l de chlore résiduel total, ont des effets sur la croissance des alevins de saumons et des jeunes saumoneaux. Ainsi, pour certaines espèces, il y a une différence très nette entre la teneur toxique aiguë et la teneur toxique chronique (*Toxicity of Residual Chlorine Compounds to Aquatic Organisms*, EPA 600/3-78-023).

Les teneurs en métaux sont toutes très faibles (voir le tableau 8), en dépit du fait que la quantité de métaux présents dans l'effluent final comprend à la fois l'apport naturel (débit d'alimentation en eau de l'usine x concentration) et la contribution de l'usine elle-même. Si, pour éliminer le mercure on utilise les techniques applicables les plus efficaces (précipitation sous forme de sulfure, suivie de filtration), le contrôle d'autres métaux est également assuré à l'intérieur de l'usine. À certaines usines, les teneurs en zinc et en chrome peuvent être un peu plus élevées en raison de l'évacuation sans traitement de l'eau de purge de la tour de refroidissement.

2.5.2.2 POLLUANTS ORGANIQUES. - Même si on tient compte de la possibilité d'effets antagonistes ou synergiques des polluants organiques prioritaires présents dans les effluents d'usines de chlore équipées de cellules à mercure, ces effluents ne peuvent être considérés comme dangereux pour la vie aquatique, du fait que les teneurs en polluants organiques décelées sont de beaucoup inférieures aux normes de la qualité de l'eau environnante, relatives à la toxicité aiguë et chronique (tableau 9).

2.5.2.3 TESTS BIOLOGIQUES POUR LA VIE AQUATIQUE. - Les tests biologiques effectués avec des effluents finals d'usines de chlore révèlent généralement une survie de 100 % dans des effluents non dilués, pendant une période de 96 heures. Si l'effluent est toxique, c'est généralement dû à une forte teneur en chlore résiduel, ou à un pH se situant hors de l'intervalle 6-9.

2.5.2.4 TESTS BIOLOGIQUES. - Trois échantillons d'effluent final d'usines de chlore équipées de cellules à mercure ont été soumis à une série de quatre tests biologiques à court terme pour leur activité génotoxique. Chaque effluent brut fut étudié pour son pouvoir mutagène chez *Salmonella typhimurium* à l'aide d'un test en suspension. Les produits d'extraction concentrés, préparés à partir des échantillons des trois effluents, ont été analysés pour leur capacité d'induire des mutations chez *Salmonella typhimurium*, des aberrations chromosomiques dans les cellules ovariennes de hamster à queue de rat, ainsi que la destruction de l'ADN et l'inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN dans des cultures de fibroblastes humains.

Dans l'intervalle des doses étudiées, aucun des trois effluents bruts n'était à l'origine d'une activité mutagène chez *Salmonella*. Par contre, l'un des trois produits d'extraction était mutagène pour *Salmonella*, comme en fait foi le test de mutagénicité. Ce produit d'extraction entraîna une multiplication par quatre de la souche TA 100, aussi bien en présence qu'en l'absence du système d'activation enzymatique hépatique (S-9).

Aucune activité mutagène n'a été observée dans les deux autres produits d'extraction d'effluents, ni dans les blancs d'extraits, avec ou sans présence de S-9[3].

Les produits d'extraction des trois effluents ont provoqué des aberrations chromosomiques dans les cellules ovariennes de hamsters à queue de rat. Deux des extraits ne produisaient des aberrations qu'en présence de S-9. Même avec l'addition de S-9, l'autre extrait ne présentait aucune aberration chromosomique. Les résultats du test montrent que les extraits exerçaient cette activité de détérioration chromosomique dans un intervalle de doses très restreint.

Aucun des trois extraits d'échantillons n'induisait de synthèse réparatrice de l'ADN dans des cultures de fibroblastes humains.

---

3. L'essai microsomique avec *Salmonella* a été mis au point au début de 1970 par Bruce Ames, biochimiste à l'université de Californie. L'essai permet de mesurer le pouvoir mutagène d'un produit chimique.

Dans le test d'Ames, les bactéries et le produit chimique sont réunis dans une boîte de Pétri et incubés. Si le produit chimique étudié est mutagène, il induira des mutations, difficile à déceler chez les bactéries. On fait donc appel à la mutation réverse. Ames et ses collègues ont obtenu des bactéries dont les gènes sont déjà le siège de mutations; ces gènes régissent la capacité de production d'histidine, qui à son tour favorise la multiplication bactérienne.

Si le produit chimique étudié est mutagène et s'il agit sur les bactéries, celles-ci, déjà le siège d'une mutation, seront soumises à une nouvelle mutation. Résultat: les bactéries produisent de l'histidine et commencent à se multiplier. Les colonies sont visibles après 48 heures.

Actuellement, cinq souches sont normalement utilisées pour le test: TA 98, TA 100, TA 1535, TA 1537 et TA 1538. Les souches TA 98, TA 1537 et TA 1538 sont déjà le siège d'addition ou de délétion d'une ou de plusieurs paires de bases et, par conséquent, il y aura inversion par des agents qui modifieront à nouveau le nombre de paires de bases. Les souches TA 100 et TA 1535 sont le siège de mutations faux-sens et subissent une mutation réverse sous l'effet d'agents qui provoquent le remplacement de paires de bases; mais, on a aussi observé que la souche TA 100 réagira également à certaines mutations par addition ou délétion (voir le glossaire pour la définition des termes).

En 1975, le test d'Ames a démontré que 90 % des agents cancérigènes connus étaient mutagènes. Cette étroite corrélation a été établie grâce à la découverte suivante: un grand nombre d'agents cancérigènes ne sont pas eux-mêmes actifs, mais sont transformés par métabolisme en leur forme active par des enzymes au niveau du foie ou d'autres organes. Ce système métabolique propre aux mammifères a pu être reproduit dans les épreuves de mutagénèse chez les microbes, par incorporation dans le système d'essai d'un extrait de foie de rat (S-9). Les enzymes hépatiques ont converti les agents cancérigènes en leurs formes actives, lesquelles ont été décelées comme agents mutagènes chez les bactéries. L'étroite corrélation entre les activités cancérigènes et mutagènes a également été observée à l'aide d'autres tests de mutagénèse à court terme[6].

Deux des trois extraits provoquaient une inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN. L'addition de S-9 supprimait l'effet inhibiteur dans l'un de ces échantillons.

Dans le témoin de solvant, le diméthylsulfoxyde (DMSO), une teneur finale de 5 % à 10 % a, dans certains cas, provoqué une inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN. Le même phénomène a été observé avec les deux dilutions supérieures de blanc d'extrait. Par conséquent, les deux dilutions supérieures (1:10 et 1:20) n'ont pas été retenues pour l'évaluation de l'effet inhibiteur produit par un extrait d'effluent.

Les résultats de cette étude sont résumés aux tableaux 10 et 11. Pour plus de détails, se reporter aux tableaux B1 à B10 de l'annexe B.

TABLEAU 10 RÉSULTATS SOMMAIRES DES ANALYSES D'ÉCHANTILLONS D'EFFLUENTS

	Effluent brut		Extrait							
	Mutagénicité Salmonella		Mutagénicité[a] Salmonella		Aberrations[b] chromoso-miques		Réparation[c] de l'ADN		Inhibition[d] de la réparation de l'ADN	
Effluent n°		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1	-	-	+[e]	+[e]	-	+	-	-	+	-
2	-	-	-	-	-	±	-	-	+	+
3	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-
Blanc d'extrait				-	-	- Voir p. 39				

[a]Mutagénèse chez Salmonella:
+ = positif: nombre de colonies au moins du double du nombre normal.
± = augmentation du nombre de colonies lié à la dose, mais qui n'atteint pas le double du nombre normal.
- = négatif: aucun des deux résultats précédents.

[b]Pourcentage de métaphases avec aberrations chromosomiques: - = 0 % à 4 %; ± = 5 % à 9 %; + = ⩾ 10 %.

[c]Maximum de grains moyens observés par noyau: - = 0-4; ± = 5-9; + = > 10.

[d]Inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN: + = inhibition observée; - = inhibition non observée.

[e]Seulement pour TA 100.

TABLEAU 11 RÉSULTATS SOMMAIRES DES TESTS DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA

	Effluent brut								Extrait	
	1535	100	1537	1538	98	1535	100	1537	1538	98
Effluent n°	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9
1	- -	- -	- -	- -	- -	- -	+4 +4	- -	- -	- -
2	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
3	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -	- -
Blanc d'extrait						- -	- -	- -	- -	- -

\+ = positif: le nombre de colonies est au moins le double du nombre normal. Le nombre indique la multiplication du nombre de colonies mutantes par rapport au nombre de colonies normales.

± = augmentation du nombre de colonies liée à la dose, mais qui n'atteint pas le double du nombre normal de colonies.

\- = négatif: aucune des deux observations précédentes.

2.5.3 Commentaires. - L'homme et l'environnement sont exposés chaque année à un grand nombre de substances et de mélanges chimiques, dont certains peuvent être dangereux pour la santé. Un grand nombre de ces composés exercent un pouvoir mutagène sur les organismes inférieurs, et des raisons biologiques nous amènent à conclure qu'au moins certains d'entre eux sont également mutagènes pour l'homme.

Ces dernières années, l'étude des effets génétiques a occupé l'un des premiers rangs dans les domaines de la toxicologie et de l'écotoxicologie humaines. Des recherches détaillées ont été consacrées à la mise au point de tests sensibles à court terme pour la caractérisation des produits chimiques mutagènes. Dans de nombreux cas, les agents mutagènes se révèlent également cancérigènes; cependant, un composé ne doit pas être considéré comme cancérigène s'il donne un résultat positif avec le seul test de mutagénicité.

Pour exploiter au maximum les installations et les fonds de recherches, l'essai et l'évaluation des produits chimiques doivent être fondés sur les principes de la progression par étapes. La présente étude, qui se situe au stade de l'analyse, doit permettre d'obtenir toute l'information nécessaire pour évaluer les risques possible. À ce stade, les recherches consistent à trouver dans la documentation scientifique les valeurs

de biodégradabilité, de bioaccumulation et d'autres processus de transfert (voir le tableau 14), à effectuer des tests de toxicité et à réaliser quatre tests à court terme de mutagénicité.

À partir des résultats obtenus, une décision sera prise quant au bien-fondé de procéder à des recherches plus poussées (par exemple, une évaluation plus précise des dangers pour l'environnement, grâce à des études sur des animaux). Si les résultats de ces dernières études se révèlent négatifs, ils doivent avoir la préséance sur ceux des tests de mutagénicité en ce qui concerne l'activité cancérigène. Évidemment, l'évaluation ultime du pouvoir cancérigène est faite en fonction de l'homme, et lorsqu'il existe des données épidémiologiques, elles doivent avoir préséance sur les résultats des études sur des animaux. Lors du choix des priorités, d'autres facteurs seront pris en considération, comme les quantités produites, la probabilité d'une exposition humaine, la toxicité prévisible et la dissémination dans l'environnement.

L'objectif ultime des études en écotoxicologie, tout comme en toxicologie humaine, est de trouver des moyens de protection contre les effets nocifs des polluants de l'environnement sur les diverses composantes des écosystèmes. Pour cela, il faut d'abord déterminer les risques.

À remarquer que nos connaissances qualitatives, et surtout quantitatives, sont très limitées dans ce domaine. L'information dont nous disposons est principalement constituée des résultats d'études de la toxicité aiguë et chronique (tableau 9), ainsi que des résultats des recherches sur les pouvoirs mutagène et cancérigène (tableau 12). Étant donné que l'homme est exposé par les trois voies principales que sont l'inhalation, l'absorption d'eau ou d'autres liquides et l'ingestion d'aliments, les normes d'évaluation pour la santé humaine (tableau 9) ont été fondées sur l'inhalation et l'ingestion à partir de l'eau.

On estime qu'il y a généralement une relation dose-réaction même dans les cas de cancers par exposition professionnelle. L'existence de relations dose-réaction n'entre pas en contradiction avec le principe voulant qu'il n'y ait pas de seuil dans le cas d'un cancer provoqué par une exposition à des agents cancérigènes. Le fait qu'il peut être très difficile d'obtenir des données sûres lorsqu'il y a apparition de cancer après exposition à des doses très faibles est à la base de notre incertitude dans ce domaine. Le fait que des méthodes appropriées d'échantillonnage et d'analyse en sont toujours au stade de l'évaluation au Canada ajoute encore à cette incertitude. Il faut néanmoins réunir le plus possible d'informations sur les niveaux de risque résultant d'expositions à de faibles doses. Ces

TABLEAU 12 PRÉSENCE D'AGENTS POTENTIELLEMENT CANCÉRIGÈNES OU MUTAGÈNES DANS LES EFFLUENTS FINALS D'USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE

Paramètre	Toxicologie[1]	Potentiel cancérigène[1]	Teneur toxique minimale	Effets toxiques	Voie d'administration	Potentiel tératogène[1]	Potentiel mutagène[2]	
Chloro-4-m-crésol	Chez le rat, DL min., orale: 500 mg/kg Chez le rat, DL 50, sous-cutanée: 400 mg/kg Chez la souris, DL min., intrapéritonéale: 30 mg/kg Chez la souris, DL min., sous-cutanée: 200 mg/kg						Activité mutagène observée chez des souches de *S. typhimurium*	Activation du métabolisme chez les mammifères
Chloroforme	Chez l'homme, DL min., orale: 40 mg/kg Teneur toxique min.: 100 ppm/7 h durant grossesse de 6 à 15 d Chez la souris, DL 50, sous-cutanée: 704 mg/kg	DT min.: 70 g/kg, admin. intermittente, 78 semaines Chez le rat, orale: 18 g/kg, admin. intermittente, 120 d, effets toxiques Chez la souris, la même dose provoque des effets cancérigènes	10 ppm/ 1 semaine	Effets sur la grande circulation (systémiques)	Inhalation	Teneur toxique min.: 100 ppm/7 h, grossesse de 6 d à 15 d Chez le rat la dose toxique inhalée a des effets tératogènes		
Dichloro-1,2 propane	Chez l'homme, DL min., orale: 50 mg/kg Dermatite, lésions hépatiques, rénales et troubles cardiaques mineurs chez les animaux exposés à de fortes doses						TA 100, TA 1535, TA 1978	+ -
Trichloroéthylène	Chez l'homme, DL min., orale: 50 mg/kg Chez l'homme, DL min., orale: 857 mg/kg Chez l'homme, teneur toxique min., par inhalation: 6900 mg/m^3/10 M, effets toxiques. Stupéfiant et anesthésique en fortes doses. Induit la toxicomanie; mort par arrêt cardiaque	DT min.: 351 g/kg, admin. intermittente, 78 semaines Effets toxiques: cancérigène quand admin. oralement chez la souris	160 ppm/ 83 mois	Système nerveux central	Inhalation		TA 100, TA 1535, TA 1538	+ Souris, B6C3F$_1$ -
Trichloro-1,1,2 éthane	Chez l'homme, DL min., orale: 50 mg/kg Narcotique; irritant pour les yeux, le nez et les poumons; lésions hépatiques et rénales Chez la souris, DL 50, sous-cutanée: 227 mg/kg Chez le chien, DL min., intraveineuse: 95 mg/kg Chez le lapin, DL min., sous-cutanée: 500 mg/kg	Suspect(2) (foie de souris)					Résultats négatifs avec la souche expérimentale[4] TA 100 (en dessiccateur)	
Dichloro-1,1 éthylène	Teneur toxique minimale: 25 ppm Chez l'homme, par inhalation: effets toxiques et systémiques Chez le chien, DL min., intraveineuse: 225 mg/kg Chez le lapin, DL min., sous-cutanée: 3700 mg/kg	Expérimentalement cancérigène, 3) 1088					+ (souche non caractérisée[4])	

TABLEAU 12 (suite)

Paramètre	Toxicologie[1]	Potentiel cancérigène[1]	Teneur toxique minimale	Effets toxiques	Voie d'administration	Potentiel tératogène[1]	Potentiel mutagène[2]
Dichloro-1,2 éthane	Chez l'homme, DL min., orale: 500 mg/kg Chez l'homme, DL min., orale: 810 mg/kg Expérimentalement mutagène et tératogène, 3) 658 Chez le rat, DL min., intrapéritonéale: 600 mg/kg Chez le rat, DL min., sous-cutanée: 500 mg/kg	Expérimentalement cancérigène, 3) 658	DL min.: 845 mg/kg		Voie orale	Expérimentalement tératogène 3) 658	TA 100[c], TA 1530, TA 1535[c] -, TA 1535 + c = activité observée, mais aucun signe positif dose-réaction Faiblement mutagène chez *S. typhimurium* Souches expérimentales TA 1530, TA 1535 et TA 100 (sur agar ou en dessiccateur); résultats négatifs lors d'essais à 125 mg/boîte, avec activation S-9, chez TA 1538 et TA 98[4]
Toluène	Chez l'homme, DL min., orale: 50 mg/kg Teneur toxique min.: 200 ppm Chez l'homme, inhalation, effets toxiques: système nerveux central Chez la souris, DL 50, par inhalation: 5300 ppm						
Trichloro-1,1,1 éthane	Chez l'homme, DL min., orale: 500 mg/kg Teneur toxique min.: 350 ppm Chez l'homme, inhalation, effets toxiques: affecte les facultés mentales Chez l'homme teneur toxique min., par inhalation: 920 ppm pendant 70 mois, affecte le système nerveux central Chez l'homme, teneur létale min., par inhalation: 27 000 mg/m^3 pendant 10 mois						TA 100
Bromodichlorométhane	Chez la souris, toxicité aiguë Chez le rat, dose orale[3] Chez la souris, DL 50, orale: 916 mg/kg DL 50: 450 mg/kg	Cancérigène chez la souris (signification douteuse des résultats de l'essai)					Résultats positifs en dessiccateur mais négatifs avec incorporation dans l'agar lors de l'essai sur TA 100 de *S. typhimurium*
Dichloro-1,4 benzène	Chez l'homme, teneur toxique min., dose orale: 300, effets toxiques non précisés dans la source; effets toxiques Chez le rat, DL 50, intrapéritonéale: 2500 mg/l	Teneur toxique min. de 142 mg/kg/l est cancérigène Chez la souris (sous-cutanée) et le rat (cellules pulmonaires cancéreuses)					Anomalies mitotiques cellulaires et chromosomes somatiques au niveau des extrémités radiculaires traitées de *Vicia faba*

TABLEAU 12 (suite)

Paramètre	Toxicologie[1]	Potentiel cancérigène[1]	Teneur toxique minimale	Effets toxiques	Voie d'administration	Potentiel tératogène[1]	Potentiel mutagène[2]
Éthylbenzène	Chez l'homme, teneur tox. min., par inhalation: 100 ppm pendant 4 heures	Aucune donnée				Aucune donnée	Aucune donnée
Dichloro-1,1 éthane	Lésions rénales chez le chat Lésions hépatiques chez le chien Développement du foetus retardé chez le rat						*Salmonella* -
Dichloro-1,2 éthylène (trans.)	Teneur toxique min.: 4800 mg/m^3 pendant 10 mois Chez l'homme, son inhalation affecte le système nerveux central	Aucune donnée					*E. Coli* -
Phénol	Chez l'homme, DL min., orale: 140 mg/kg Chez le rat, DL 50, intrapéritonéale: 250 mg/kg Chez le rat, DL min., sous-cutanée: 650 mg/kg Chez la souris, DL 50, sous-cutanée: 344 mg/kg Chez le chat, DL min., sous-cutanée: 80 mg/kg	Teneur toxique min. 4000 mg/kg pendant 20 semaines de façon intermittente Chez la souris, effet cancérigène (peau) Données insuffisantes et inadéquates pour déterminer le potentiel cancérigène du phénol dans l'eau ingérée					Mutations réverses chez *E. Coli* Non mutagène pour *Neurospora* Mutagène pour *Drosophila*
Nitro-2 phénol	Lésions hépatiques et rénales chez les animaux expérimentaux Chez le chien, DL min., intraveineuse: 100 mg/kg						
Trichloro-2,4,6 phénol	Chez l'homme, DL min., orale: 500 mg/kg Chez le rat, DL 50, intrapéritonéale: 276 mg/kg	Teneur toxique min. 29 g/kg pendant 78 semaines de façon intermittente Cancérigène pour les rats F344 mâles et les souris B6C3F$_1$ des deux sexes					Résultats négatifs pour l'essai microsomique avec *Salmonella*, en présence de systèmes activés ou non
Dichlorométhane	Chez l'homme, DL 50, orale: 500 mg/kg Chez la souris, DL 50, intrapéritonéale: 1500 mg/kg Chez la souris, DL 50, sous-cutanée: 6460 mg/kg Chez le chien, DL 100, intrapéritonéale: 950 mg/kg Chez le chien, DL min., sous-cutanée: 2700 mg/kg Chez le chien, DL min., intraveineuse: 200 mg/kg Chez le lapin, DL min., sous-cutanée: 2700 mg/kg	Réaction cancérigène chez la souris; Signification douteuse des résultats	500 ppm pendant 1 an de façon intermittente DL min., orale: 500 mg/kg	Affecte le système nerveux central	Par inhalation		Pouvoir mutagène chez TA 100 de S. *typhimurium* et chez des souris après immunosuppression

TABLEAU 12 (suite)

Paramètre	Toxicologie[1]	Potentiel cancérigène[1]	
Toluène	Chez l'homme, DL min., orale: 50 mg/kg Teneur toxique min.: 200 ppm Chez l'homme, l'inhalation affecte le système nerveux central Teneur toxique min.: 100 ppm Chez l'homme, l'inhalation affecte les facultés mentales Chez la souris, DL 50, par inhalation: 5300 ppm		
Tétrachlorure de carbone	Chez l'homme, DL min., par inhalation: 1000 ppm Teneur toxique min.: 20 ppm Chez l'homme, l'inhalation affecte le système nerveux central Chez l'homme, DL min., orale: 43 mg/kg Chez la femme, teneur toxique min., orale, de 1800 mg/kg, effets sur la grande circulation (systémiques) et sur les poumons Teneur toxique min.: 1700 mg/kg Chez l'homme, l'ingestion affecte le système nerveux central Narcotique; troubles respiratoires, entraînant la mort; en cas de récupération, graves lésions rénales, hépatiques et pulmonaires; une faible dose provoque de graves troubles gastro-intestinaux et des lésions rénales et hépatiques		DL min.: 300 ppm (grossesse de 6 d à 15 d) Chez le rat, l'inhalation entraîne des effets tératogènes

Remarque. - DL min.: dose létale minimale. DL 50: dose létale moyenne. DT min.: dose toxique minimale.

[1]Données tirées de ***Potentially Toxic and Hazardous Substances in the Industrial Organic Chemicals and Organics Dyes and Pigment Industries***, PB 80-180482.

[2]Données tirées de ***Aquatic Pollutants: Transformation and Biological Effects***, Pergamon Press.

[3]Données tirées de ***NIH-EP Chemical Information System***.

[4]Données tirées de ***Potential Industrial Carcinogens and Mutagens***, Lawrence Fishbein, Elsevier.

\+ Activité en présence de fraction microsomique S-9 de foie de rat, sauf dans les cas où une autre espèce est mentionnée. Animaux préalablement traités avec de l'Aroclor 1254 pour l'induction d'enzymes microsomiques, sauf dans les cas où d'autres agents inducteurs sont mentionnés.

\- Activité en l'absence de fraction microsomique S-9.

± Activité aussi bien en présence qu'en l'absence de fraction microsomique S-9.

risques à faible dose sont-ils acceptables ou non? Il appartient non seulement aux scientifiques, mais aussi aux milieux industriels et à d'autres spécialistes de disciplines connexes, d'évaluer ces risques. En outre, il ne faut pas oublier que certains contaminants prioritaires sont retenus dans les organismes vivants en raison de leur nature physico-chimique et parce qu'ils ont un effet néfaste sur les organes d'excrétion et, par conséquent, sur leur propre élimination. L'absorption cumulative de petites doses de polluants provoque des troubles au niveau des récepteurs lorsque, après un certain temps, les teneurs toxiques seuils sont atteintes.

L'analyse a révélé que l'eau potable peut renfermer jusqu'à 700 substances chimiques organiques; parmi celles-ci, il y a peut-être de nombreux contaminants cancérigènes et mutagènes[7, 8, 9]. Les tests de mutagénicité à court terme, qui ont servi à évaluer le pouvoir cancérigène non seulement d'échantillons complexes de l'environnement mais également de sources d'approvisionnement en eau potable, d'effluents industriels et d'effluents domestiques, ont montré que les eaux potables de diverses sources avaient une certaine activité mutagène[10, 11]. Beaucoup des composés présents dans les effluents d'usines de chlore se retrouvent également dans les eaux potables, dans la même gamme de concentrations.

L'activité génotoxique, observée dans les cas d'effluents d'usines de chlore et de concentrés d'eaux usées, qui renfermaient un mélange d'agents cancérigènes et mutagènes potentiels (voir tableaux 9 et 12), était relativement faible, si on la compare aux résultats d'études d'eaux potables. Cela s'explique probablement par le fait que les extraits d'eaux usées d'usines de chlore n'avaient été concentrés que 250 fois, alors que les extraits d'eau potable l'avaient parfois été jusqu'à 200 000 fois dans ces études. Les tests toxicologiques du tableau 12 faisaient appel à des doses relativement élevées, ce qui ne donne pas nécessairement une indication précise sur la réaction à de faibles doses de ces substances chimiques.

De plus, il existe d'autres incertitudes en ce qui concerne l'efficacité des divers tests *in vitro*, utilisés pour déceler les substances mutagènes dans les eaux usées. Par exemple:

a) Les agents mutagènes sont tellement dilués dans les eaux usées qu'ils donnent des résultats négatifs. On ne peut donc, dans ces conditions, conclure à l'absence d'agents mutagènes.

b) On risque d'obtenir des résultats faussement positifs ou négatifs.

c) Certains agents mutagènes peuvent être perdus lors de la préparation de l'échantillon.

d) Certains composés risquent d'être modifiés chimiquement lors des étapes de concentration, d'extraction ou de stockage.

e) La complexité des mélanges peut conduire à divers effets additifs ou antagonistes. Certaines fractions peuvent être trop toxiques pour permettre une évaluation sûre du pouvoir mutagène.

Des études ont montré que l'activité individuelle de certaines fractions basiques, et peut-être même neutres, soumises aux tests, est beaucoup plus élevée que l'activité de l'ensemble des extraits. À l'avenir, les études devraient comprendre aussi bien des tests d'extraits après séparation en fractions acide, basique et neutre, que des tests normalisés en boîte avec des échantillons d'effluents bruts.

En résumé, les résultats des tests de génotoxicité obtenus avec le nombre très restreint d'échantillons d'effluents d'usines de chlore ne permettent pas d'évaluer le risque possible pour la santé humaine, ni d'autres effets sur l'environnement. Ces tests devraient par contre faciliter le choix des priorités en ce qui concerne les cas de pollution pris individuellement.

2.6 Options de décontamination et méthodes de traitement

2.6.1 Polluants classiques. - Des modifications au niveau du procédé peuvent sensiblement réduire les charges de polluants déversés par les usines de chlore. En 1970-1971, de nombreuses modifications ont ainsi permis de réduire aussi bien les charges de polluants classiques que celles de polluants prioritaires. Certaines modifications consistaient à séparer les eaux usées contaminées et les eaux usées relativement plus propres, en recyclant le plus possible d'eaux usées contaminées et en traitant le reste. Parmi les autres modifications de l'usine, qui ont permis de réduire les rejets de polluants, il y a celles qui sont décrites dans les paragraphes suivants.

2.6.1.1 CONSTITUANT DE L'ANODE. - Toutes les usines utilisent maintenant des anodes en métal plutôt que des anodes en graphite. L'emploi d'anodes à dimensions stables (ADS) permet d'augmenter le rendement électrique, de réduire sensiblement la charge de polluants organiques prioritaires dans les eaux usées de l'usine, d'obtenir un gaz cellulaire de plus grande pureté, ce qui a pour effet de réduire la quantité de gaz obligatoirement libéré par le système de liquéfaction du chlore. De plus, l'utilisation d'équipement de réfrigération pour la récupération du chlore permet de diminuer encore davantage la quantité de chlore gazeux sortant des évents du système de liquéfaction du chlore.

2.6.1.2 DÉCONTAMINATION DES ÉMISSIONS DE GAZ DE QUEUE. - La quantité de chlore présent dans le gaz de queue est importante, car ce gaz doit être séparé et utilisé ou traité avant d'être déchargé dans l'atmosphère. Dans toutes les usines, le chlore gazeux passe par un laveur à la soude et est transformé en hypochlorite de sodium. Ce dernier est vendu par certaines usines, mais, dans d'autres, cet effluent liquide est traité en entier ou partiellement avant d'être déchargé.

La décomposition catalytique en présence de faibles quantités de sels de nickel ou de fer, suivie d'une rétention de deux ou trois jours, est la méthode de traitement la plus couramment utilisée; mais, une quantité résiduelle, de quelques parties par million de chlore, est normalement toujours présente dans l'effluent évacué. Une seule usine réussit à éliminer complètement le chlore résiduel en employant de l'eau oxygénée. La déchloration peut aussi se faire par addition d'anhydride sulfureux, de bisulfite de sodium ou de métabisulfite de sodium.

2.6.1.3 CONDENSATS DE CHLORE ET ACIDE DE SÉCHAGE USÉ. - Parmi les autres sources de chlore déversé dans les eaux usées évacuées, on peut citer les condensats de chlore et l'acide de séchage usé. Des méthodes d'extraction, comme celles à la vapeur ou sous vide, peuvent servir à récupérer le chlore, qui est souvent renvoyé dans le procédé pour être purifié et récupéré. Quelques milligrammes de chlore résiduel par litre d'effluent sont parfois évacués avec l'effluent final.

En plus des moyens de contrôle des eaux usées du procédé, l'effluent nécessite généralement un traitement complémentaire. Cet effluent est habituellement divisé en eau de refroidissement et en eau de procédé.

L'eau de refroidissement sans recyclage devrait normalement contenir très peu de matières solides en suspension et de sels dissous, sauf si on se sert d'eau de mer. Tout contaminant présent (lorsque l'eau de refroidissement est de l'eau douce) provient normalement de fuites qui devraient être décelables à l'aide d'un équipement de surveillance. Dans tous les cas, la quantité de contaminants présents dans l'eau de refroidissement devrait être très faible, et normalement aucun traitement ne devrait être nécessaire.

Par contre, les eaux usées du procédé requièrent un traitement. Les matières solide en suspension, les matières dissoutes et le chlore résiduel sont les principaux polluants classiques qui peuvent se retrouver dans les effluents d'usines de chlore équipées de cellules à mercure.

Les boues produites dans ces usines lors de la purification de la saumure constituent la principale source de matières solides résiduelles en suspension. Dans toutes

les usines, ces matières solides sont éliminées des eaux usées par filtration ou décantation. De plus, les eaux usées contaminées par du mercure qui ont été traitées pour éliminer ce dernier, sont filtrées ou décantées pour empêcher les matières solides de passer dans l'effluent final. Les seules matières solides en suspension déversées proviennent de secteurs non contaminés par le mercure (eau de purge ou de nettoyage de l'équipement) et du ruissellement de surface. Le traitement industriel le plus avancé pour éliminer des matières en suspension est le séjour pendant 24 heures dans un bassin. Seule l'usine n° 3 dispose d'un bassin pour le traitement de l'effluent combiné. La teneur moyenne en matières en suspension dans l'effluent final évacué par cette usine est de 2 mg/l.

La plupart des eaux usées d'usines de chlore sont soit acides, soit alcalines, ou alors réagissent avec l'eau pour donner des solutions acides ou alcalines. Avant leur évacuation vers les eaux de surface, le pH des eaux usées doit donc être vérifié et ajusté pour éliminer tout excès d'acidité ou d'alcalinité. Comme il existe le plus souvent un circuit acide et un circuit basique, il suffit, pour avoir un pH normal, de neutraliser mutuellement un circuit par l'autre. S'il n'y a pas d'installations de retenue ou de stockage, des écarts très grands de pH peuvent se produire, comme on l'a constaté dans la plupart des usines.

Ainsi qu'il a été mentionné précédemment, les solutions d'hypochlorite sont utilisées sur place, vendues ou décomposées; les condensats de chlore et l'acide de séchage usé subissent normalement une extraction à la vapeur ou sous vide pour les séparer du chlore. Cependant, l'effluent de l'usine renferme parfois de faibles teneurs en chlore résiduel; lors de perturbations dans le procédé, ces teneurs peuvent être assez élevées. Les déversements peuvent être dangereux du fait que le chlore, même à très faible concentration, est toxique pour les poissons, et que l'interaction du chlore résiduel et des composés organiques risque de conduire à la formation d'hydrocarbures chlorés.

La déchloration peut être effectuée en faisant réagir les solutions chlorées avec certains composés chimiques; il semble que l'utilisation de SO_2 constitue la méthode la moins coûteuse et la plus acceptable. La réaction est presque instantanée et devrait bien convenir dans des circuits où la teneur en chlore résiduel est pratiquement constante. Lorsqu'il y a des pics de concentration, un système de retenue est indispensable pour obtenir une concentration constante. À l'usine n° 3 (disposant d'un bassin de rétention de 24 heures), 100 % du chlore sont normalement éliminés grâce à l'eau oxygénée.

2.6.2 Polluants prioritaires. - Le mercure est le principal polluant prioritaire en provenance des usines de chlore équipées de cellules à mercure. Le tableau 9 présente les

métaux toxiques, présents en teneurs relativement faibles dans l'effluent final. Ces métaux proviennent de l'eau d'alimentation, des impuretés du sel et peut-être des produits de corrosion formés par réaction du chlore avec les pièces d'équipement du procédé.

Les boues résiduaires de la saumure, ayant de faibles teneurs en mercure après la filtration ou le dragage des boues des bassins de retenue, sont éliminées dans des décharges contrôlées ou sont enfouies dans des puits solidement construits. D'autres matières solides contenant de grandes quantités de mercure sont lessivées avec de l'hypochlorite, traitées à la cornue ou stockées pour récupérer le mercure qu'elles contiennent.

Tous les déversements accidentels et fuites sont recueillis et recyclés, ou ajoutés aux eaux usées contaminées par le mercure. Celui-ci est converti en sulfure de mercure, et les eaux traitées sont évacuées. L'élimination du mercure des eaux usées, par conversion en sulfure de mercure, a l'avantage supplémentaire d'éliminer en même temps certains autres métaux.

Le tableau 13 présente sommairement les options et les méthodes de décontamination de milieux renfermant du mercure.

Le présent rapport ne décrit pas les méthodes permettant d'éliminer les émissions de mercure dans l'atmosphère; mais, on peut dire que la réfrigération de l'hydrogène gazeux et des gaz libérés par les évents des cellules, suivie de leur passage à travers des lits de charbon ou des tamis moléculaires, permet de réduire les émissions de mercure et, par conséquent, les retombées de ce métal au voisinage de l'usine, ce qui aura pour effet de diminuer la teneur en mercure des eaux de ruissellement. À la plupart des usines, les eaux de ruissellement de l'usine sont relativement propres. De l'eau de ruissellement est prélevée, et sa teneur en mercure, analysée; si elle est élevée, l'eau est traitée pour éliminer ce métal.

Il y avait également dans l'effluent final des teneurs mesurables en polluants organiques prioritaires. Le tableau 14 présente la liste de ces composés, avec leur teneur; il indique également ce qu'il advient de ces polluants dans le milieu aquatique et les méthodes de traitement les plus efficaces et les plus pratiques pour les éliminer des eaux usées.

Étant donné que les circuits résiduaires n'ont pas été échantillonnés individuellement, la source des polluants prioritaires à l'intérieur de l'usine n'a pu être déterminée. Les méthodes de traitement qui permettraient d'éliminer les produits organiques chlorés dans l'effluent final de l'usine seraient beaucoup trop coûteuses pour les avantages qui

TABLEAU 13 CIRCUITS RÉSIDUAIRES DES USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE, AVEC OPTIONS DE DÉCONTAMINATION ET TRAITEMENTS

Sources et commentaires	Constituants	Options de dépollution	Traitement
Boues résiduaires provenant des saturateurs et de la saumure	$CaCO_3$ $CaSO_4$ $Mg(OH)_2$ Hydroxydes de métaux lourds Mercure	Filtration des matières solides	Étant donné que les matières solides renferment de petites quantités de mercure, elles doivent être éliminées dans une décharge contrôlée Le filtrat est recyclé dans le circuit de la saumure et évacué sous forme de précipité de HgS. L'eau de lavage du filtre est recyclée ou traitée par la méthode du sulfure pour en éliminer le mercure sous forme de HgS
		Bassin de stabilisation	Les matières solides se déposent dans le bassin. Les eaux usées sont recyclées dans l'usine ou évacuées après avoir éliminé le mercure sous forme de précipité de HgS. Toute eau d'infiltration est recueillie et traitée pour en éliminer le mercure
		Lixiviation du mercure	Les matières solides sont traitées à l'aide d'hypochlorite de sodium et le mercure est récupéré sous forme de chlorure. Ces matières peuvent alors être mises sans danger en décharge. Quant à la solution renfermant le chlorure de mercure, elle est recyclée vers l'alimentation en saumure
		Dépôt dans une cavité creusée dans du sel	Aucune des dernières usines équipées de cellules à mercure n'utilise l'extraction minière par mise en solution

TABLEAU 13 (suite)

Sources et commentaires	Constituants	Options de dépollution	Traitement
Eaux usées de la salle des cellules comprenant les fuites, les déversements accidentels, la saumure purgée, les eaux de lavage, l'évacuation des eaux de purge du système de refroidissement de la boîte d'extrémité, etc.	Sel Solution caustique Hypo Saletés diverses Mercure Sulfates	Recyclage et(ou) réutilisation dans la mesure du possible. Élimination du mercure sous forme de précipité de sulfure de mercure	Destruction de tout hypo présent, ajustement du pH à 6-8, élimination du mercure par filtration et mise à l'égout. L'effluent traité renferme environ 40 ppb de Hg. Les matières solides sont traitées à la cornue pour récupérer le mercure Certaines usines emploient des étangs pour transformer en sulfure le mercure qui contamine les effluents. Les matières solides se déposent et le liquide surnageant est siphonné dans l'égout Une colonne de charbon actif est parfois utilisée après la filtration. Ce traitement devrait permettre de réduire encore davantage la teneur en mercure
Acide sulfurique usé provenant des tours de séchage du chlore	H_2SO_4	Régénération possible. Utilisé pour ajuster le pH des eaux usées. Expédié à l'extérieur de l'usine pour être réutilisé (par ex. dans la fabrication de l'engrais)	Normalement, l'acide est expédié à l'extérieur de l'usine ou est alors déchloré par strippage et évacué dans l'égout après neutralisation

TABLEAU 13 (suite)

Sources et commentaires	Constituants	Options de dépollution	Traitement
Solution du laveur des gaz de queue	NaOCl ou $Ca(OCl)_2$	Vente Utilisation dans les usines de pâtes et papiers Emploi pour l'extraction du Hg des boues Décomposition	Si l'hypochlorite ne peut être vendu ou réutilisé, il est normalement décomposé et recyclé dans le circuit de la saumure, ou déversé dans l'égout
Eau de lavage à contre-courant du filtre de la solution caustique	NaCl Mercure Agent de filtration NaOH	Transfert dans un réservoir de retenue	Le liquide surnageant peut être filtré ou décanté, et utilisé pour ajuster le pH de la saumure Les matières solides peuvent être traitées à la cornue ou lixiviées avec de l'hypo pour en récupérer le mercure Les eaux usées filtrées ou décantées peuvent être ajoutées aux eaux usées de la salle des cellules pour récupérer le Hg, avant d'être déversées dans l'égout
Condensats des lignes d'hydrogène et des gaz d'évent	Vapeur de mercure Vapeur d'eau	Recyclage	Les gaz passent dans des refroidisseurs primaires, et le condensat et le mercure sont retournés au décomposeur. L'hydrogène est ensuite réfrigéré jusqu'à condensation; recyclage du mercure. Le condensat est recyclé dans le procédé ou refroidi dans une tour de refroidissement
		Traitement	Le condensat est ajouté aux eaux usées de la salle des cellules, et le mercure est éliminé sous forme de précipité de HgS

TABLEAU 14 COMPORTEMENT DANS LE MILIEU AQUATIQUE ET MÉTHODES DE TRAITEMENT POSSIBLES DES POLLUANTS PRIORITAIRES PRÉSENTS DANS L'EFFLUENT FINAL DES USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE

Paramètre	Teneurs décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement dans le milieu aquatique*					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement**
Chloroforme	T-410	Probablement non significative	Probablement non significative	Processus de transport primaire	Probablement non significative	Faible à modérée	Strippage à la vapeur et adsorption sur charbon actif sont considérés les plus efficaces
Tétrachlorure de carbone	T-24	Probablement non significative	Trop lente pour constituer un procédé significatif	Processus de transport primaire	Aucune preuve évidente de teneur sélective dans les sédiments	Informations non concluantes	Flottation des gaz, adsorption sur charbon actif en grain et sédimentation par addition d'alun et de chaux
Dichloro-1,2 éthane	T-12	Ne semble pas significative	Probablement trop lente pour constituer un procédé significatif	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Probablement non significative	Sédimentation assistée par addition d'alun et de polymères
Trichloroéthylène	T-72	Probablement inexistante	Probablement trop lente pour constituer un procédé significatif	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Preuve d'accumulation par des organismes marins	Flottation des gaz, boues activées. Adsorption sur charbon actif en grains et osmose inverse
Bromodichlorométhane	T-28	Aucun renseignement n'a pu être trouvé	Trop lente pour constituer un procédé significatif	Pas d'information précise. Probablement processus de transport significatif	Pas d'information précise	Bioaccumulation possible	Flottation des gaz par addition d'alun et de polymères ou adsorption sur charbon actif en grains
Trichloro-2,4,6 phénol	T-6	Photolyse signalée, mais pertinence des informations incertaines	Jugée non pertinente	Probablement non significative	Probable: net potentiel de sorption par des matières organiques	Probablement sans importance	Lagunage aéré et adsorption sur charbon actif en poudre

TABLEAU 14 (suite)

Paramètre	Teneurs décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement dans le milieu aquatique*					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement**
Nitro-2 phénol	T-1	Photolyse lente, principale voie de dégradation possible	Faible possibilité si adsorption sur argile	Probablement sans importance	Adsorption sur argile prouvée	Probablement sans importance	Sédimentation, boues actives et adsorption sur charbon actif en poudre
Chloro-4-m-crésol	T-3	Photolyse intra-moléculaire, voie de dégradation la plus probable	Processus non pertinent	Probablement non significative	Données insuffisantes. Probablement sans importance	Probablement sans importance	Boues activées et adsorption sur charbon actif en grains
Toluène	T-2	Coupure photolytique directe énergétiquement improbable	Non significative	Processus significatif	Impossible à déterminer	Probablement sans importance	Dégradation biologique, adsorption sur charbon actif en grains et strippage à la vapeur ou aération
Dichloro-1,1 éthylène	T-19	Négligeable	Trop lente pour être significative	Semble un processus de transport primaire	Données insuffisantes. Probablement sans importance	Données insuffisantes. Probablement sans importance	Filtration, sédimentation par addition d'alun et de polymères et adsorption sur charbon actif en poudre
Trichloro-1,1,1 éthane	T-94	Probablement non significative	Trop lente pour être significative	Processus de transport primaire	Probablement sans importance	Probablement sans importance	Boues activées (provenant du strippage) et adsorption sur charbon actif
Dichloro-1,2 propane	T	Aucune donnée	Aucune donnée: probablement importante	Composé volatil, mais peut revenir par précipitation	Aucune donnée: possibilité d'adsorption modérée	Aucune donnée: légère accumulation possible	Boues activées et adsorption sur charbon actif en grains
Dichloro-1,3 propène (trans et cis)	T-4	Aucune donnée	Semble lente mais probablement importante	Processus de transport primaire	Aucune donnée	Aucune donnée: probablement pas importante	Biodégradation

TABLEAU 14 (suite)

Paramètre	Teneurs décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement dans le milieu aquatique*					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement**
Trichloro-1,1,2 éthane	T-14	Probablement non significative	Probablement trop lente pour être significative	Probablement processus de transport primaire	Information non concluante	Information non concluante	Boues activées (provenant probablement du strippage) et adsorption sur charbon
Dichlorométhane	T-55	Probablement non significative	Probablement non significative	Processus de transport primaire	Probablement non significative	Probablement non significative	Sédimentation assistée par addition d'alun ou flottation gazeuse avec addition d'alun
Dichloro-1,1 éthane	T	Probablement non significative	Probablement trop lente pour être significative	Processus de transport primaire	Probablement sans importance	Probablement non significative	Sédimentation, boues activées
Dichloro-1,2 éthylène (trans)	0-23	Probablement inexistante	Probablement trop lente pour être significative	Semble être un processus de transport primaire	Probablement non significative	Probablement non significative	Séparation de l'huile par gravité
Éthylbenzène	T-1	Coupure directe par photolyse énergétiquement improbable	Non significative	Processus de transport significatif	Importance relative impossible à déterminer	Probablement sans importance	Flottation gazeuse, filtration ou lagunage aéré
Dichloro-1,4 benzène	0-9	Aucune donnée	Probablement pas d'hydrolyse dans l'eau	Volatilisation rapide à partir de l'eau probable	Peut être importante	Bio-accumulation probable dans les Cipides des tissus d'organismes vivants	Étangs aérés ou boues activées
Diéthylphtalate	T-3	Probablement pas de photolyse directe	Pas considérée comme un processus compétitif	Moins importante que l'adsorption	Adsorption sur les matières en suspension et le biote probablement très importante	Considérée comme un processus important	Sédimentation avec addition de produits chimiques et boues activées

TABLEAU 14 (suite)

Paramètre	Teneurs décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement dans le milieu aquatique*					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement**
Di-n-butylphtalate	T-16	Probablement pas de photolyse directe	Pas considérée comme un processus compétitif	Moins importante que l'adsorption	Adsorption sur les matières en suspension et le biote probablement très importante	Processus important	Flottation gazeuse avec addition de produits chimiques, sédimentation avec addition de produits chimiques et charbon actif en grains
Phtalate de bis-(éthylhexyle)	T-4	Photolyse directe improbable	Hydrolyse lente: non compétitif	Moins importante que l'adsorption	Probablement le processus de transport le plus important	Processus important	Sédimentation avec addition de produits chimiques, lagunage aéré et charbon actif en poudre
Phénol	0-1	Peut constituer un important processus de dégradation dans des eaux aérées claires	Non significative	Possibilité qu'une partie du phénol s'échappe dans l'atmosphère	Non significative	Non significative	Sédimentation avec addition d'alun, lagunage aéré et adsorption sur charbon actif en grains ou O.I.

* Données tirées de *Water-Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants.*
** Données tirées du volume 1 du *Treatability Manual* de l'EPA.
T: traces.

découleraient de leur utilisation, car l'importance des faibles teneurs en polluants prioritaires décelés n'est pas encore connue. Les circuits pourraient être contrôlés individuellement pour les hydrocarbures chlorés de façon à déterminer lequel d'entre eux renferme la plus grande partie des polluants prioritaires. Il serait alors possible de faire appel à l'une des méthodes de traitement du tableau 14 pour éliminer ces derniers.

2.6.3 Choix de la méthode appropriée. - Actuellement, les méthodes qui suivent sont proposées pour le traitement des effluents liquides d'usines de chlore équipées de cellules à mercure:

a) Les matières solides du saturateur de saumure et du traitement doivent être séparées de la saumure par filtration, lavées pour éliminer la saumure résiduelle contenant du mercure soluble et déversées dans une décharge contrôlée. Le filtrat et l'eau de lavage sont recyclés dans le circuit de la saumure.

b) Les matières solides du saturateur de saumure et du traitement, qui renferment plus 50 mg par kilogramme de mercure, doivent être traitées pour en éliminer le mercure avant d'être évacuées dans une décharge contrôlée.

c) Les eaux usées contaminées doivent être séparées des eaux usées propres (n'ayant que de faibles teneurs en mercure), et recyclées ou réutilisées, si possible. Les eaux usées contenant du mercure doivent d'abord être traitées afin d'en éliminer ce métal sous forme de HgS, puis filtrées sous pression. Les matières solides retenues dans le filtre doivent être soumises au procédé de récupération du mercure, tandis que le filtrat rejoint les autres eaux usées de l'usine.

d) Toute la solution caustique doit être filtrée pour en éliminer le mercure et d'autres impuretés mineures. Les matières solides provenant du lavage à contre-courant du filtre seront traitées pour en récupérer le mercure. L'eau de lavage devrait être réutilisée.

e) Les eaux usées combinées, c'est-à-dire les eaux du procédé, l'eau de refroidissement et l'eau de ruissellement des eaux de pluie, doivent être transférées dans un système de retenue, où toutes les matières solides présentes se déposeront. Le pH doit être ajusté, et l'effluent sera déchloré par l'addition de peroxyde ou de dioxyde de soufre, ou toute autre méthode éprouvée.

3 PROCÉDÉ UTILISANT DES CELLULES À DIAPHRAGME

3.1 Description du procédé

Dans la cellule à diaphragme, une couche d'amiante sépare l'anode de la cathode. Cette couche permet aux ions de passer par migration électrique, tout en réduisant la diffusion des produits. Le diaphragme permet de construire des cellules compactes de moindre résistance à cause du rapprochement des électrodes. La valeur de la résistance suppose une tension et une pression hydrostatique plus élevées au niveau de l'alimentation en saumure (la figure 3 présente le schéma d'une cellule à diaphragme). La saumure purifiée et saturée s'écoule dans les cellules, où elle est électrolysée pour donner du chlore, de la soude et de l'hydrogène, selon l'équation suivante:

$$2NaCl + 2H_2O \rightarrow Cl_2 + 2NaOH + H_2$$

Le chlore se forme aux anodes de graphite ou aux anodes à dimensions stables, barbote jusqu'au haut de la cellule et est recueilli dans le collecteur de chlore. La cathode est constituée d'une toile métallique, revêtue d'une couche d'amiante. Les ions sodium se déplacent vers la cathode, où il y a alors formation d'ions hydroxyles et d'hydrogène. Une solution renfermant 10 % à 15 % de NaOH se forme dans le compartiment de la cathode.

Le diaphragme empêche le retour des ions hydroxyles vers l'anode, où ils réagiraient avec le chlore pour donner des chlorates; de plus, ces ions auraient comme effet de réduire le rendement électrique.

L'hydrogène est évacué des cellules, refroidi pour éliminer l'eau qu'il contient, puis brûlé comme combustible, ou utilisé comme produit chimique de synthèse.

La saumure provenant de la cathode renferme l'hydroxyde de sodium formé ainsi que 12 % à 15 % de NaCl, du fait que seulement 50 % du sel sont décomposés dans les conditions de fonctionnement optimal de la cellule. Cette saumure est concentrée dans des évaporateurs à effets multiples pour donner une solution à 50 % de soude, contenant environ 1 % de sel. Ce dernier, qui cristallise lors de l'étape de concentration, est séparé par filtration ou centrifugation, et recyclé dans le circuit de la saumure.

La figure 4 présente un diagramme de fonctionnement d'une usine équipée de cellules à diaphragme.

Si une purification supplémentaire est requise, la soude peut être purifiée par l'une ou l'autre des nombreuses méthodes éprouvées. La plus courante est le procédé d'extraction à l'ammoniac anhydre, qui permet de séparer les chlorates et un certain

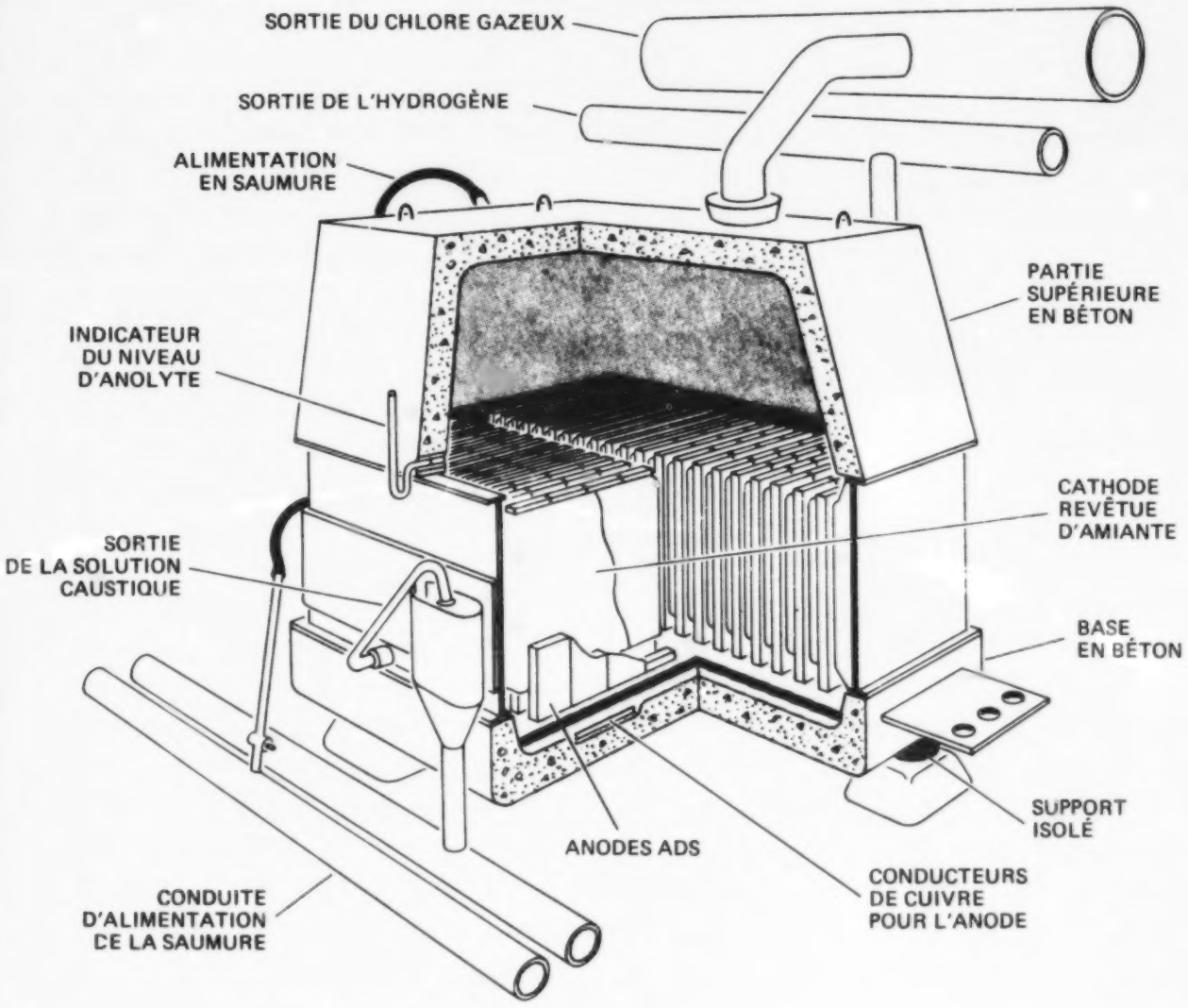


FIGURE 3 SCHÉMA DE LA CELLULE À DIAPHRAGME HOOKER TYPE S-3C

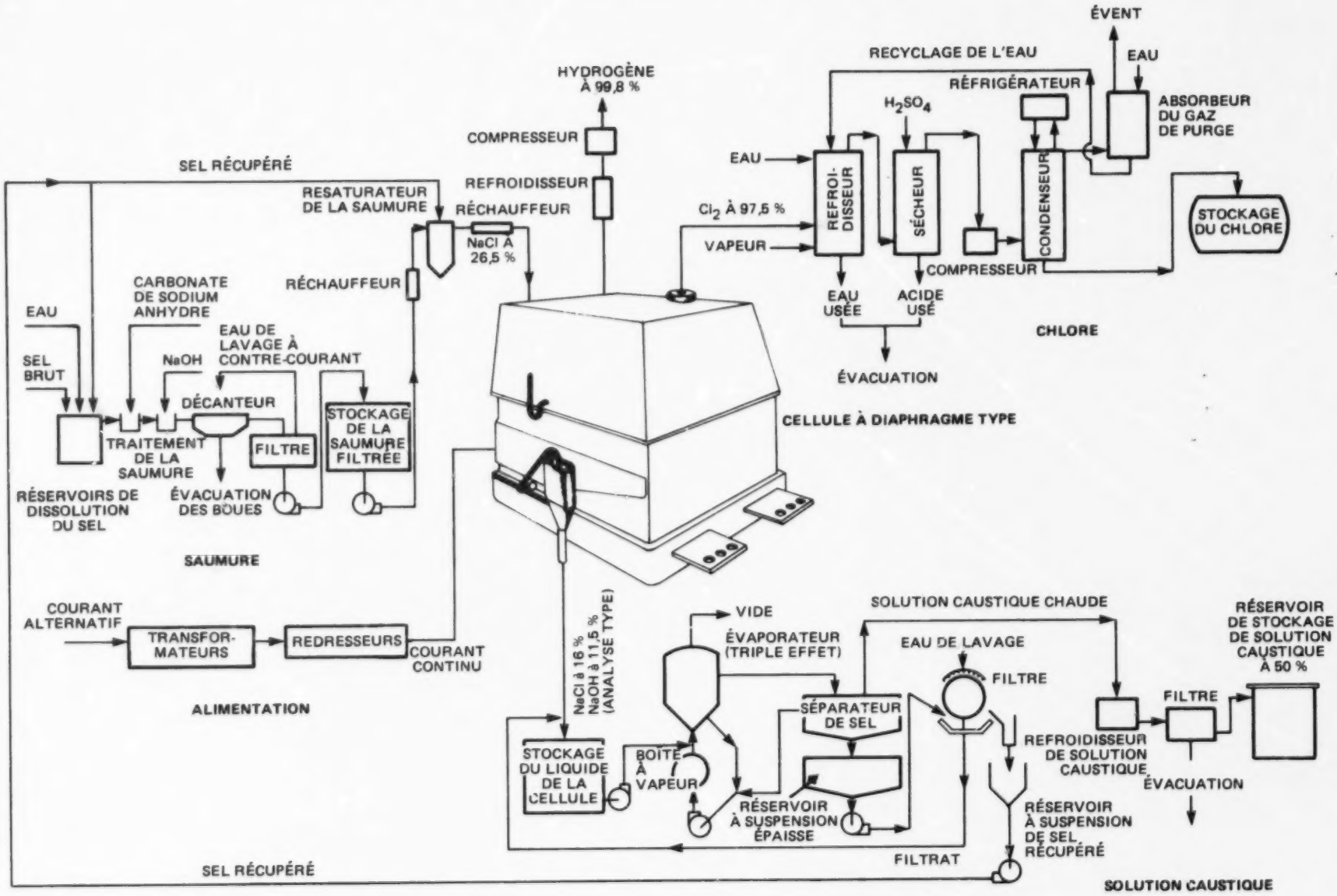


FIGURE 4 DIAGRAMME DE FONCTIONNEMENT D'UNE USINE TYPE DE CHLORE ÉQUIPÉE DE CELLULES À DIAPHRAGME (extrait du rapport nº AP80 de l'EPA, *Atmospheric Emissions from Chlor-Alkali Manufacture*)

nombre d'autres impuretés mineures, constituées de sels minéraux, dont le chlorure de sodium.

3.2 Consommation d'eau et sources d'eaux usées

3.2.1 Consommation d'eau. - Dans les usines équipées de cellules à diaphragme, l'eau peut être utilisée pour les opérations suivantes: le refroidissement sans contact; la purification des gaz de queue; le lavage des cellules; l'entretien et le nettoyage général; la dilution de la saumure; le lavage à contre-courant du filtre; et l'évaporation de la solution caustique.

La consommation totale d'eau par les usines équipées de cellules à diaphragme varie de 14 m^3 par tonne de chlore produite (lorsque des tours de refroidissement sont utilisées) à 475 m^3 par tonne de chlore produite (avec des systèmes de refroidissement sans recyclage de l'eau). L'eau de refroidissement, sans contact avec les produits de réaction, représente environ 0 % à 97 % de la quantité totale d'eau consommée (le présent rapport n'étudie pas la consommation d'eau en cas de refroidissement sans contact).

3.2.2 Sources d'eaux usées

3.2.2.1 BOUES DE L'UNITÉ DE DISSOLUTION. - Comme on l'a vu à la section 2.2.2, environ 30 kg à 100 kg de matières solides résiduelles (principalement de l'anhydrite et de la gangue) sont produites par tonne de chlore obtenue, si le sel gemme est employé comme matière première. Ces résidus solides sont soit pompés dans des bassins de décantation, soit déversés dans l'océan. Dans les étangs de décantation, la saumure faiblement concentrée est récupérée et recyclée.

3.2.2.2 BOUES DE SAUMURE. - La quantité et le type de matières solides déversées sont les mêmes que dans le cas des usines équipées de cellules à mercure, excepté qu'il ne devrait y avoir de mercure ni dans les matières solides ni dans les boues. Les boues de saumure sont filtrées et utilisées sur place comme matériaux de remblayage, ou encore déversées dans l'océan, dans des étangs de décantation, dans des cavités à sel ou dans des puits profonds. Dans les étangs, les boues sont retirées à intervalles réguliers et utilisées comme matériaux de remblayage.

La quantité de boues de clarificateur déversées varie de 0,08 m^3 à 0,3 m^3 par tonne de chlore produite, avec une teneur en matières solides de 5 % à 20 %. La saumure et les eaux de lavage sont normalement recyclées.

3.2.2.3 RÉSIDUS DE LA SALLE DES CELLULES. - Les principaux résidus provenant de la salle des cellules comprennent les fuites, les déversements accidentels (soude,

saumure, hypo, etc.), les boues d'amiante (amiante usé du diaphragme évacué par jet d'eau de la section cathodique) et les eaux usées de nettoyage en général.

La quantité d'eaux usées varie d'une usine à l'autre, selon les pratiques d'exploitation. Par exemple, la production de boues d'amiante, bien qu'intermittente, atteint en moyenne environ 0,07 m^3 par tonne de chlore produite.

Si des anodes en graphite sont utilisées dans les cellules, les eaux usées pourraient contenir de fortes teneurs en composés organiques chlorés.

3.2.2.4 CONDENSAT RÉSULTANT DU REFROIDISSEMENT DU CHLORE. - Le condensat provenant du refroidissement indirect du chlore gazeux est réutilisé sur place, dans d'autres usines, ou encore débarrassé du chlore par injection de vapeur dans une tour à garnissage, puis recyclé dans le procédé.

À certaines usines, le chlore gazeux, chaud et humide, est refroidi par contact direct avec l'eau de mer. Après que celle-ci a été débarrassée de son chlore, elle est évacuée dans l'égout. On ne dispose pas d'information sur la valeur des débits de condensat.

3.2.2.5 ACIDE SULFURIQUE USÉ. - Après refroidissement, le chlore gazeux est séché dans une série de tours de séchage à l'acide sulfurique. L'acide usé (contenant de 50 % à 70 % de H_2SO_4) est recueilli et réutilisé, régénéré, vendu, utilisé pour l'ajustement du pH ou déversé directement dans l'égout.

3.2.2.6 LIQUIDE DU LAVEUR DE GAZ DE QUEUE. - Le chlore gazeux résiduel non condensé, provenant de l'étape de liquéfaction, est soit utilisé pour préparer de l'hypochlorite de sodium, soit brûlé avec de l'hydrogène pour produire de l'acide muriatique. Les unités d'absorption à l'hypochlorite de gaz résiduels servent également à absorber: (*a*) les gaz au moment de la mise en route, et lors de situations d'urgence; (*b*) les gaz résiduels provenant des wagons-citernes, des bouteilles, etc., à leur retour.

L'hypochlorite peut être utilisé dans d'autres procédés, vendu, décomposé ou déversé dans l'égout. On ne dispose d'aucun chiffre sur les débits.

3.2.2.7 EAU DE LAVAGE À CONTRE-COURANT DU FILTRE. - Une purge du sulfate de sodium, effectuée par lavage à contre-courant de la suspension de sel déposée sur le filtre lors de la concentration de l'hydroxyde de sodium par évaporation, assure un bon fonctionnement de la cellule à diaphragme. Ce liquide de purge est déversé dans l'égout, renvoyé à l'étape de purification de la saumure, où le sel est séparé par précipitation, ou récupéré pour être vendu.

L'eau de lavage à contre-courant du filtre de saumure est déversée soit dans un étang de décantation pour saumure, soit dans des puits de saumure, ou encore dans un réservoir de retenue. Dans les usines qui possèdent ce type de réservoir, le liquide surnageant est recyclé dans le procédé, les matières solides concentrées étant évacuées dans l'océan.

L'eau de lavage à contre-courant provenant du filtre de l'eau brute est envoyée soit dans un étang de traitement, soit dans un étang de décantation pour la saumure, ou encore dans l'égout.

La solution caustique produite est filtrée pour éliminer ses impuretés. L'eau de lavage à contre-courant du filtre est recyclée dans le procédé.

3.2.2.8 CONDENSAT DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE L'HYDROGÈNE. - Le refroidissement de l'hydrogène gazeux destiné à être utilisé sur place ou vendu, donne un condensat qui est déversé directement dans l'égout ou réutilisé.

3.2.2.9 EAUX USÉES DU CONDENSEUR BAROMÉTRIQUE. - Le condenseur barométrique, utilisé pour évaporer la solution caustique, provoque la condensation rapide des vapeurs chaudes provenant de l'évaporateur, ce qui crée un vide intense dans le système. Il faut pour cela de grandes quantités d'eau. D'après les chiffres de deux usines, le débit moyen dans le condenseur barométrique est de 77 m^3 par 1000 kg de chlore produit dans des systèmes sans recyclage. Ces eaux usées renferment environ 10 mg par litre de solution caustique entraînée, plus une petite quantité de sel et de sulfates.

3.2.2.10 PURGE DE LA CHAUDIÈRE. - Un autre écoulement d'eaux usées qui aboutit dans le système de collecte des eaux usées est l'eau de purge de la chaudière. La composition approximative (en milligrammes par litre) de ce circuit s'établit comme suit:

matières dissoutes	2000	-	3000
matières en suspension			10
chlorures	100	-	200
sulfates	75	-	100
silice	3	-	5
fer	50	-	100
phosphates	0	-	25
chélates	15	-	25

À certaines usines, ce liquide de purge est récupéré et pompé dans les unités de dissolution.

3.2.2.11 PURGE DE LA TOUR DE REFROIDISSEMENT. - Environ un tiers des usines de chlore équipées de cellules à diaphragme utilisent des tours de refroidissement. Généralement, l'eau de purge rejoint sans traitement l'effluent principal. La composition approximative (en mg/l) de l'eau de purge s'établit comme suit:

matières dissoutes	400	à	700
chlorures	200	à	300
sulfates	100	à	200
calcium	100	à	150
chromates	12	à	15
zinc	0	à	2

3.2.2.12 EFFLUENTS DOMESTIQUES. - Les effluents domestiques de ces usines sont envoyés dans des bassins de traitement anaérobie ou aérobie, dans des systèmes de traitement municipaux, dans des fosses septiques ou, sans traitement, dans l'effluent combiné.

3.2.2.13 EAUX DE PLUIE. - La quantité des eaux de pluie et leur qualité dépendent des conditions locales, de la hauteur des précipitations et de l'entretien général du terrain de l'usine.

Dans la plupart des usines, les eaux de ruissellement ne sont pas traitées pour en enlever les matières solides ni pour ajuster leur pH. Elles sont envoyées directement dans l'effluent final.

3.2.2.14 EAUX USÉES: RÉSUMÉ. - Le débit d'eaux usées, qui comprennent les eaux usées du procédé, la purge de la tour de refroidissement, les résidus des unités de traitement de l'eau, la purge de la chaudière (si elle n'est pas réutilisée) et l'eau de ruissellement provenant des terrains où sont déversées les eaux usées et les boues générées par l'exploitation de l'usine atteint en moyenne 5500 l par tonne de chlore produite (tableau 15) pour les six usines équipées de cellules à diaphragme dont on possède les données. Dans le cas des nouvelles usines, un débit d'eaux usées de moins de 2000 l par 1000 kg de chlore produit pourrait être obtenu.

Aux États-Unis, les usines équipées de cellules à diaphragme utilisant des anodes à dimensions stables et de l'eau barométrique recyclée consomment en moyenne 2400 l par tonne de chlore produit.

TABLEAU 15 DÉBITS D'EAUX USÉES DES USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME: RÉSUMÉ

Usine nº	Débits d'eaux usées (m^3/t)		
	Procédé	Refroidissement sans recyclage	Total
1	7,9	191,0	198,9
2	6,2	94,5	100,7
3	9,0	--	9,0
4	9,6	115,0	124,9
5	0,4	360,0	360,4
6	0	--	0
Moyenne pour 6 usines	5,5		

3.3 Polluants classiques - Méthode de collecte des données

3.3.1 Méthodologie. - La collecte des données sur les teneurs en polluants classiques et les débits d'eaux usées industrielles s'est faite par trois voies distinctes. En 1973, un questionnaire a été envoyé aux usines équipées de cellules à diaphragme leur demandant des renseignements détaillés sur les débits de leurs eaux de procédé et de refroidissement et sur leurs teneurs en polluants.

Par la suite, au cours des huits dernières années, le personnel des Régions du S.P.E. et leurs homologues provinciaux ont effectué un certain nombre d'études. De plus, certaines usines doivent présenter un rapport mensuel de surveillance et de contrôle à leur ministère provincial de l'Environnement.

Les données ainsi recueillies apparaissent à la section 3.4 pour les six usines équipées de cellules à diaphragme en exploitation au Canada.

3.3.2 Description d'usines. - Ce qui suit porte essentiellement sur les techniques de décontamination de l'eau et de traitement des eaux usées produites par les usines de chlore équipées de cellules à diaphragme au Canada.

3.3.2.1 USINE Nº 1. À l'usine nº 1, le sel obtenu par évaporation au soleil est dissous dans de l'eau fraîche ou recyclée. La saumure brute, qui renferme du calcium, du

magnésium et d'autres impuretés mineures, est purifiée en élevant le pH entre 10 et 11 à l'aide d'hydroxyde de sodium ou de carbonate de sodium, ou encore des deux (le carbonate de sodium est produit à l'usine même en traitant le liquide de la cellule avec le gaz de carneau de la centrale énergétique et de la soude caustique diluée). Les métaux lourds et le magnésium sont précipités sous forme d'hydroxydes, et le calcium, sous forme de carbonate.

On laisse les matières précipitées s'accumuler dans les réservoirs de traitement pendant deux ou trois mois. Les boues épaisses sont ensuite transférées à l'aide d'un boyau dans un réservoir de stockage des boues. La saumure surnageante est filtrée, chauffée, resaturée avec le sel récupéré lors de l'évaporation de la solution caustique de la cellule, puis envoyée aux cellules à diaphragme. La solution de lavage à contre-courant des filtres de la saumure est transférée dans le réservoir de stockage des boues. La suspension combinée (matières solides du traitement de la saumure et eau de lavage à contre-courant du filtre) est évacuée dans l'égout à un débit réglé.

Les pertes dans la salle des cellules, qui comprennent les fuites, les égouttures, les déversements accidentels, les eaux de purge, etc., sont normalement faibles. Ces pertes sont recueillies dans une fosse et renvoyées par pompage dans le circuit de la saumure pour y être recyclées. Les eaux usées provenant de la section de remise à neuf des cellules, qui ont une forte teneur en fibres d'amiante, sont transférées dans un bassin de décantation. La majeure partie des eaux usées s'infiltrent dans le sol. À intervalles réguliers, les fibres d'amiante sont retirées et enfouies dans une décharge.

Le chlore gazeux, chaud et humide, provenant des cellules est refroidi par contact direct avec l'eau de mer, séché par passage à travers trois tours remplies d'acide sulfurique de plus en plus concentré, encore refroidi par contact direct avec du chlore liquide, purifié et liquéfié. L'acide sulfurique usé, dont la concentration est d'environ 70 %, est transféré dans l'appareil de strippage pour le chlore (la quantité de chlore dans l'eau de mer utilisée pour le refroidissement direct du chlore gazeux est réduite à une concentration résiduelle de moins de 5 mg/l). Cette eau, qui renferme l'acide sulfurique purgé, est ensuite évacuée dans l'égout.

Le chlore gazeux non condensé provenant de l'étape de la liquéfaction est envoyé soit à l'unité de production d'acide muriatique, soit à l'unité d'hydroxyde de sodium pour être transformé en hypochlorite de sodium. Les gaz des évents des wagons, des réservoirs de stockage et des péniches vides, sont également envoyés dans le système d'absorption donnant de l'hypochlorite. Celui-ci est décomposé et recyclé dans le circuit de la saumure.

L'hydrogène gazeux chaud provenant des cellules est refroidi, comprimé et utilisé comme combustible dans la chaudière, ou mélangé avec du chlore et brûlé pour donner de l'acide muriatique à 35 %. Lors de la fabrication de HCl, l'acide chlorhydrique gazeux non absorbé passe à travers un laveur de gaz de queue où il subit une autre absorption. Les gaz libérés par cet épurateur sont traités dans un séparateur-éjecteur à l'eau de mer où toute trace d'acide chlorhydrique est éliminée, et les eaux usées sont dirigées vers l'égout.

La solution des cellules, qui renferme environ 14 % de soude caustique et 13 % de sel, passe dans des évaporateurs à triple effet permettant de concentrer l'hydroxyde de sodium à 50 %. Dans ce procédé, le sel, qui cristallise en se séparant de la solution, est récupéré par filtration, débarrassé pratiquement de tout produit caustique et recyclé dans le saturateur de la saumure. L'eau de lavage de la première étape est renvoyée dans l'évaporateur. L'eau de lavage de la seconde étape est envoyée dans le circuit de la saumure. La solution caustique est refroidie, centrifugée pour éliminer encore davantage de sel et de sulfate de sodium, puis stockée. La suspension de matières solides obtenues par centrifugation est recyclée dans la section de la saumure. Lorsque les vapeurs provenant des évaporateurs de la solution caustique sont refroidies par contact, à l'aide de condenseurs barométriques, il peut y avoir production d'une grande quantité d'eaux usées. Dans cette usine, environ 90 m^3 d'eau de mer par tonne de chlore produite, renfermant une petite quantité de soude caustique, sont déversés directement dans l'égout. Une partie de la soude caustique à 50 % est concentrée à 73 % pour certains clients.

L'eau de purge de la chaudière, qui renferme certains phosphates, des sulfites, de la soude, de la silice et du chlorure de sodium, est envoyée dans l'égout.

En raison de la porosité du sol autour de l'usine, des eaux de pluie s'infiltrent en grande partie dans la terre; il y a donc très peu de ruissellement.

L'ensemble des eaux usées de cette usine fait l'objet d'un contrôle quotidien; le tableau 16 présente les données obtenues. Comme le montre ce tableau, l'addition d'éléments métalliques aux eaux usées est négligeable (quantité d'éléments métalliques ajoutés à l'usine = (volume de l'effluent final x concentration) - (volume d'eau d'alimentation x concentration)). Les seuls problèmes pourraient résulter de l'addition occasionnelle de chlore résiduel et de matières en suspension ainsi que de fortes fluctuations du pH. Ni le déversement d'éléments métalliques, ni celui de polluants classiques ne devraient être un sujet de préoccupation.

3.3.2.2 USINE N° 2. - À l'usine n° 2, le procédé et les méthodes d'exploitation ressemblent beaucoup à ceux de l'usine n° 1, les deux installations appartenant à la même

TABLEAU 16 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DE L'EFFLUENT DE L'USINE DE CHLORE Nº 1 ÉQUIPÉE DE CELLULES À DIAPHRAGME

Paramètre	Eau d'alimentation (mg/l)	Effluent final			
		Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/t)
Débit (m^3/d)**			82 000		
pH**	7,1	1 430	7,5	2,3-12,4	
Matières solides totales		8	26 840*		
Matières en suspension	< 5	1 385	19	0-1 074	4,0
Cond. spéc. µmhos/cm			24	32 850*	
Chlore résiduel		1 400	0,4	0-49	0,085
COT	10	2	10		
DBO_5	4	2	< 2		
Dureté		1	4 310		
Sulfates	2 065	2	2 000*		
Chlorures	15 000	9	13 250*	11 000-14 200	
Baryum total	0,000 6	7	1,01		0,21
Ba dissous		2	0,5		0,10
Cadmium total	< 0,001	2	< 0,001		
Cobalt total	< 0,002	2	< 0,002		
Chrome total	< 0,002	2	< 0,002		
Cuivre total	< 0,001	79	0,095	0,005-4,1	0,020
Cu dissous		2	0,03		
Manganèse total	0,003 7	2	0,001 4		0,000 3
Molybdène total	< 0,02	2	< 0,02		
Nickel total	< 0,008	2	0,01		0,002
Ni dissous		2	0,01		0,002
Plomb total	< 0,008	2	< 0,008		
Antimoine total	< 0,008	2	< 0,008		
Étain total	< 0,02	2	< 0,02		
Titane total	< 0,000 9	2	< 0,000 9		
Fer total	0,057	80	0,26	0,02-1,8	0,042
Fe dissous		2	0,16		0,038
Ca dissous		2	260*		
Mg dissous		2	888*		
K dissous		2	270*		
Na dissous		2	7 500*		
Zinc total		78	0,06	0,001-1,7	0,002
Zn dissous	0,050	2	0,06		0,014
Mercure total	< 0,000 2	2	< 0,000 2		

Remarque: Cette usine a fait l'objet d'analyses lors de l'étude sur les produits chimiques toxiques.

* Ces valeurs élevées sont dues au fait qu'environ 95 % des eaux usées déversées sont de l'eau de mer.

** Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

compagnie. Par exemple, les deux usines utilisent du sel obtenu par évaporation solaire, des anodes à dimensions stables, le même type de cellule, des évaporateurs à triple effet avec des condenseurs barométriques; de plus, dans les deux usines, le chlore gazeux, humide et chaud, est refroidi par contact direct avec l'eau de mer, et environ 95 % de l'eau consommée par l'usine est de l'eau de mer employée pour le refroidissement. Cependant, l'usine nº 2 est plus petite, et son exploitation ne comporte par certaines étapes comme celles mentionnées ci-après; la qualité et la quantité des eaux usées déversées sont donc légèrement différentes (tableaux 16 et 17). Les principales différences au niveau de l'exploitation de l'usine nº 2 sont les suivantes:

a) le chlore gazeux, après refroidissement, séchage, purification et compression, est envoyé par une conduite jusqu'à une usine de pâtes à papier (il n'y a pas d'équipement de liquéfaction);

b) il n'y a pas production d'acide chlorhydrique;

c) il n'y a pas production de NaOH à 73 %;

d) les eaux s'écoulant par les drains du plancher de la salle des cellules sont déversées dans l'égout.

Les trois premières différences précédentes ne modifient probablement pas la qualité des eaux usées, mais uniquement leur quantité. L'écoulement des eaux de drainage de la salle des cellules pourrait entraîner des teneurs plus fortes en amiante; malheureusement, aucune analyse n'a été faite pour déterminer la teneur en amiante de l'effluent de l'usine nº 2. Très peu d'analyses ont porté sur les éléments métalliques, et il est donc difficile de conclure sans risque d'erreur; il semble pourtant que l'addition d'éléments métalliques aux eaux usées évacuées par cette usine soit négligeable. Il n'y a que trois paramètres classiques qui pourraient éventuellement entraîner des risques, à savoir le pH, le chlore résiduel et les matières en suspension.

3.3.2.3 USINE Nº 3. - À l'usine nº 3, le sel gemme est dissous aussi bien dans de l'eau fraîche que dans de l'eau recyclée; autrement dit, il y a recyclage de l'eau du bassin de décantation de la saumure, du condensat obtenu lors du refroidissement du chlore de l'eau de lavage de la salle des cellules, ainsi que d'une partie de l'eau de refroidissement. La saumure brute, qui renferme des impuretés comme l'anhydrite, le calcium, le magnésium, les sulfates, et d'autres impuretés mineures, est purifiée par addition de solution carbonatée des cellules (produite sur place par réaction du gaz de carneau de la centrale énergétique avec la soude). Les matières solides du fond du saturateur ainsi que celles du clarificateur sont envoyées dans un bassin de décantation. La saumure surnageante du

TABLEAU 17 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DE L'EFFLUENT DE L'USINE DE CHLORE Nº 2 ÉQUIPÉE DE CELLULES À DIAPHRAGME

Paramètre	Effluent final			
	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/t)
Débit (m^3/d)**		11 800		
pH**	1 683	7,8	2,0-12,8	
Matières solides totales	1	34 450*		
Matières solides en suspension	83	12,5	0-74	1,48
Cond. spéc.	9	42 478*	37 600-44 700	
Chlorures	2	15 212*		
Chlore résiduel	1 824	0,06	0-3,5	0,007
Cuivre total	1	0,04		0,004 7
Fer total	1	0,41		0,048
Nickel total	1	0,01		0,001 2
Sodium dissous	1	8 550*		
Oxygène dissous	4	8,3	7,7-9,1	
Alcalis totaux	1	62		
DCO	1	20		2,4

* Ces valeurs élevées sont dues au fait qu'environ 95 % des eaux usées déversées étaient de l'eau de mer.

** Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

clarificateur est filtrée et transférée dans un réservoir de stockage. Cette saumure est ensuite chauffée avec de l'hydrogène gazeux chaud dans une tour à contact direct, restaurée avec le sel récupéré dans l'évaporateur de solution caustique, acidifiée et enfin dirigée vers les cellules. La solution de lavage à contre-courant provenant du filtre de la saumure est également envoyée dans le bassin de décantation.

Le chlore gazeux, chaud et humide, provenant des cellules est refroidi dans des échangeurs de chaleur à surface refroidis à l'eau. Le condensat, après déchloration à la vapeur, est recyclé pour en dissoudre le sel. Le chlore est séché dans une série de trois tours contenant de l'acide sulfurique. L'acide usé (environ 60 % à 70 % de H_2SO_4) est en partie utilisé pour ajuster le pH de l'effluent final. Le reste est envoyé dans une autre

usine où il sera réutilisé. Le chlore sec est désembué, épuré avec du chlore liquide, prérefroidi et comprimé. Le gaz comprimé est encore davantage liquéfié, d'abord avec de l'eau refroidie, puis avec du chlore liquide. Ce dernier est ensuite stocké en vue de son expédition.

Le chlore gazeux non condensé provenant de l'étape de liquéfaction est brûlé avec de l'hydrogène pour former de l'acide chlorhydrique utilisé à l'usine même. Une unité à hypochlorite de sodium absorbe le chlore gazeux et d'autres gaz usés formés lors de la mise en route et de situations d'urgence; de plus, cette unité produit de l'hypochlorite pour la vente. Tout surplus est décomposé et rejeté avec l'effluent traité.

L'hydrogène gazeux chaud provenant des cellules est refroidi par contact direct avec la saumure provenant du réservoir de stockage, comprimé puis brûlé avec du chlore pour obtenir de l'acide muriatique ou utilisé comme combustible pour alimenter la chaudière. Les effluents provenant de la section du HCl s'écoulent dans un réservoir et, de là, sont pompés dans le système de traitement.

Le liquide des cellules, qui renferme environ 13 % de NaOH et 15 % de NaCl, est transféré par pompage dans des réservoirs de stockage. On laisse ensuite évaporer l'eau de ce liquide, de façon à obtenir une teneur de 50 % en NaOH. Le liquide est refroidi, filtré une dernière fois pour enlever le sel et stocké. Environ 70 % de l'eau évaporée sont recueillis et réutilisés dans l'usine. Les 30 % restants rejoignent l'eau du condenseur barométrique, le tout étant recyclé vers les tours de refroidissement. Le sel cristallisé est lavé pour séparer les sulfates et le produit caustique. La première solution de lavage est recyclée vers les tours de refroidissement. Le sel cristallisé est lavé pour séparer les sulfates et le produit caustique. La première solution de lavage est recyclée vers l'évaporateur. La solution de lavage suivante, une saumure riche en sulfates, est traitée pour faire baisser sa teneur en sulfates, puis envoyée au bassin de décantation des boues. La saumure purifiée est recyclée dans le procédé. Les cristaux de sel lavés sont renvoyés à l'entrée du circuit pour resaturer la saumure.

L'amiante des diaphragmes usés est entraîné par arrosage des sections des cathodes vers un endroit prévu à cette fin. La suspension est déversée dans un puits à boues. L'amiante qui se dépose est chargé dans des barils, et le tout est enfoui. On fait passer l'effluent dans un filtre sous pression, et il s'écoule dans le puits à boues. Le gâteau d'amiante du filtre est également chargé dans des barils, puis enfoui.

Les eaux usées de procédé, provenant des sections de préparation et de traitement de la saumure ainsi que des sections de récupération de la solution caustique et du sel, sont recyclées le plus possible, par exemple réutilisées pour dissoudre le sel,

lorsqu'il n'y a pas recyclage, elles sont envoyées dans le bassin à boues de saumure, muni d'un revêtement de plastique.

Les purges de la chaudière, les liquides usés provenant du traitement et du stockage du chlore ainsi que les liquides des aires de stockage et de chargement de la solution caustique sont recueillis et transférés dans le système de traitement et servent à ajuster le pH.

Les réservoirs du liquide des cellules et ceux de stockage de la solution caustique, de l'acide sulfurique, de l'hypochlorite et du combustible sont tous entourés de fossés. Les eaux usées accumulées à l'intérieur de l'aire entourée de fossés sont analysées et, si elles sont neutres, envoyées dans le réseau de canalisations; si elles ne sont pas neutres, l'effluent passe dans le système de traitement.

Le réseau de fossés draine les eaux de pluie de l'ensemble du terrain et reçoit l'eau de purge de la tour de refroidissement. Tout déversement accidentel, non récupéré par le système de collecte des eaux usées de procédé, s'écoule dans ce réseau de canalisations. Le pH et la conductivité de l'eau des fossés sont surveillés en continu. Si le pH doit être modifié, l'eau est déviée vers le système de traitement de l'effluent. Si la teneur en sel est trop forte, l'eau est déviée vers le bassin à boues.

Le pH des eaux dans le système de traitement est surveillé en permanence. Ce système comprend un bassin de retenue, suivi de trois réservoirs en fibre de verre (FRP) reliés entre eux, d'agitateurs et de pHmètres. Lorsque le pH dépasse les limites autorisées, l'effluent est neutralisé par addition soit de liquide de cellule, soit d'acide sulfurique.

Les eaux usées domestiques s'écoulent dans l'égout domestique à l'usine même.

Les eaux usées provenant de cette usine font l'objet d'analyses permanentes. Le tableau 18 présente les données obtenues.

3.3.2.4 USINES N^{os} 4 et 5. - Les usines 4 et 5 se trouvent dans un ensemble intégré fabriquant des produits chimiques minéraux et organiques. La saumure saturée provenant des puits de saumure est pompée dans des cuves de réaction. Dans ces dernières, la saumure brute est purifiée en élevant son pH à l'aide de soude et de carbonate de sodium produits sur place par traitement de la solution caustique des cellules avec du dioxyde de carbone. Les métaux lourds et le magnésium sont précipités sous forme d'hydroxydes, et le calcium sous forme de carbonate.

La saumure traitée est filtrée pour séparer les précipités, chauffée, puis resaturée à l'aide du sel récupéré lors de l'évaporation du liquide caustique de la cellule, acidifiée avec HCl, et enfin dirigée jusqu'aux cellules à diaphragme. La solution de lavage

TABLEAU 18 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DE L'EFFLUENT DE L'USINE DE CHLORE Nº 3 ÉQUIPÉE DE CELLULES À DIAPHRAGME

Paramètre	Effluent final			
	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/t)
Débit* (m^3/d)		6 200		
pH*	6	8,8	2,5-11,5	
Matières solides totales	6	1 040	330-2 300	12,9
Matières en suspension	6	10	5-24	0,12
Sulfates	6	24	12-50	0,30
Chlorures	3	610	170-1 000	11,1
Sodium	6	355	100-1 000	4,4
Calcium	3	17	10-21	0,30
Magnésium	3	4	3-7	0,07
Fer	3	0,85	0,47-1,1	0,02
Chrome	3	0,42	0,33-0,48	0,008
Cuivre	3	< 0,03	< 0,02-0,04	< 0,000 3
Nickel	3	< 0,02		< 0,000 2
Plomb	3	< 0,02		< 0,000 2
Cadmium	3	< 0,01		< 0,000 1
Zinc	6	0,15	0,095-0,2	0,002
Cobalt	3	< 0,02		< 0,000 2
Arsenic	3	< 0,03		< 0,000 3
Chlore résiduel	3	< 0,05	0-80	

* Les unités figurant en tête de colonne ne s'appliquent pas ici.

à contre-courant du filtre de la saumure est recyclée dans le circuit de la saumure, et les matières solides retenues par le filtre sont renvoyées dans la cavité à sel.

Les pertes dans la salle des cellules, qui comprennent les déversements accidentels, les fuites, les diverses purges, etc., sont normalement faibles; elles sont recueillies et recyclées dans le procédé. Les eaux usées de la section de remise à neuf des cellules, qui ont une forte teneur en fibres d'amiante sont envoyées dans un étang. Les

eaux sont recyclées dans le procédé. Les matières solides se déposent et sont, à intervalles réguliers, retirées et enfouies dans une décharge appartenant à la compagnie et dont l'exploitation a été approuvée par les autorités provinciales.

L'hydrogène gazeux chaud provenant de la nouvelle usine de chlore est refroidi indirectement, le condensat étant recyclé dans l'usine. L'usine la plus ancienne utilise le refroidissement par contact direct; l'eau de refroidissement, s'écoulant à un débit de moins de 2200 l/mn, et dont la teneur en produit caustique est inférieure à 0,1 g/l, est évacuée dans la rivière. La majeure partie de l'hydrogène gazeux est transportée par canalisation jusqu'à une compagnie voisine.

Le chlore gazeux, chaud et humide, provenant des cellules, est refroidi par voie indirecte, séché par passage à travers des tours remplies d'acide sulfurique de plus en plus concentré, puis il est comprimé, purifié, liquéfié et enfin stocké. Le condensat est transporté jusqu'à une autre partie de l'usine pour y être réutilisé. L'acide sulfurique usé est déchloré et vendu.

Tout le chlore gazeux usé, qui ne peut être condensé, est dirigé vers un laveur à saumure alcaline. L'hypochlorite produit est décomposé et recyclé dans le circuit de la saumure.

Le liquide de cellule, qui renferme environ 12,5 % de soude et 13 % de sel est envoyé dans des évaporateurs pour concentrer la soude jusqu'à 50 %. La soude sortant des évaporateurs est refroidie, filtrée pour séparer le sulfate de sodium et autres impuretés, puis stockée. Une purification ultérieure est également effectuée pour obtenir de la soude caustique à faible teneur en sel. Le sel, qui cristallise en se séparant de la solution dans les évaporateurs à effets multiples, est recyclé dans les resaturateurs de saumure. Dans ces usines, les vapeurs provenant de la concentration par évaporation de la soude sont refroidies indirectement. Tous les condensats sont normalement utilisés à l'usine même; s'il y a un excès, les eaux, dont la conductivité est d'environ 10 micromhos/cm, sont déversées dans la rivière.

Les résidus d'hydrocarbures chlorés provenant de l'étape de purification du chlore alimentent une unité de fabrication de produits chimiques sur les lieux mêmes.

Une installation centrale traite toute l'eau d'alimentation du complexe. Dans cette installation, l'eau est traitée avec du sulfate ferreux, de la chaux, et des polyphosphates, puis elle passe dans des filtres et dans des colonnes d'échange cationiques et anioniques. Les matières solides provenant de cette installation de traitement de l'eau sont envoyées dans un bassin. Les résidus liquides provenant de la régénération des colonnes d'échange ionique sont traités et recyclés.

Les eaux usées de ruissellement des deux usines sont recueillies et recyclées. Les déchets domestiques vont dans l'égout de la ville.

Les seules eaux usées de procédé, évacuées par les usines 4 et 5, sont les suivantes: faible quantité d'acide sulfurique usé neutralisé, un peu de condensat provenant des évaporateurs de solution caustique, dont la conductivité est d'environ 10 micromhos/cm et, enfin, un peu d'eau de refroidissement par contact direct, servant à refroidir l'hydrogène gazeux de l'ancienne usine de chlore. On ne possède aucune information sur l'analyse des eaux usées provenant des usines combinées.

3.3.2.5 USINE Nº 6. - À l'usine nº 6, un complexe chimique intégré pour produits organiques et minéraux, la saumure provenant des puits à saumure, qui renferme du calcium, du magnésium, des sulfates et d'autres impuretés mineures, est pompée dans des cuves de traitement. Là, la saumure est purifiée par addition de carbonate de sodium. Celui-ci est produit à l'usine par réaction du liquide de cellule avec les gaz de carneau et de la soude. Les métaux lourds et le magnésium sont précipités sous forme d'hydroxydes, et le calcium sous forme de carbonate.

La saumure traitée est filtrée pour séparer les matières solides précipitées, chauffée et restaurée de sel récupéré à la sortie des évaporateurs de soude. La saumure resaturée est acidifiée, puis envoyée vers les cellules. Les matières solides recueillies au cours de la purification de la saumure sont dirigées dans un puits profond. Toutes les eaux associées à la purification de la saumure, comme celles de lavage à contre-courant du filtre de la saumure, les liquides des déversements accidentels, des purges, etc., sont recyclées dans le procédé.

Les pertes dans la salle des cellules, qui comprennent les fuites, les déversements accidentels, les eaux de purge, etc., sont recueillies et sont recyclées dans le procédé. Les eaux de lavage obtenues lors de la remise à neuf des cellules étant fortement chargées de fibres d'amiante, sont décantées dans un clarificateur. L'eau est recyclée dans le procédé, et les matières solides sont pompées dans une cavité à sel avec l'autorisation des services gouvernementaux provinciaux.

Le chlore gazeux, chaud et humide, provenant des cellules est refroidi et séché, puis soit comprimé, purifié, liquéfié et stocké, soit transporté par des canalisations vers d'autres sections de l'usine où il est utilisé. Le condensat est également pompé vers une autre section de l'usine où il peut être employé. L'acide sulfurique usé est neutralisé et déversé dans un puits profond avec l'autorisation des services gouvernementaux provinciaux.

La température de l'hydrogène gazeux chaud est abaissée par refroidissement direct, et le condensat est recyclé. Une partie de cet hydrogène gazeux est utilisée pour la production de HCl, lequel est consommé sur place ou vendu. Les eaux usées des unités de refroidissement sont recyclées dans le procédé.

La majeure partie du chlore gazeux résiduel qui ne peut être condensé va dans les brûleurs à HCl des gaz de queue, puis dans des épurateurs de réserve à produits alcalins. Les effluents de ces épurateurs sont recyclés dans le procédé.

Le liquide de cellule, qui renferme environ 13 % de soude et à peu près autant de sel, est envoyé dans des évaporateurs pour concentrer la soude à 50 %. La soude quittant les évaporateurs est refroidie, filtrée pour séparer le sulfate de sodium et d'autres impuretés, puis envoyée au stockage. Le sel, qui cristallise en se séparant de la solution dans les évaporateurs, est recyclé dans le circuit de la saumure. Les vapeurs provenant des évaporateurs, après refroidissement indirect, sont réutilisées dans l'usine.

Une installation centrale traite toute l'eau d'alimentation nécessaire au complexe chimique intégré. Parmi les traitements classiques appliqués, on peut citer les suivants: coagulation, floculation, et filtration suivie d'adoucissement par échange ionique.

Avant leur déversement final dans la rivière, les eaux résiduelles évacuées par ces unités passent dans un bassin ou les matières solides sédimentent et le pH est ajusté.

Les hydrocarbures chlorés résiduels provenant de l'étape de purification du chlore sont utilisés comme charge d'alimentation pour la fabrication de produits chimiques à l'usine même. Les eaux usées de ces opérations de fabrication sont soumises à une extraction à la vapeur des substances organiques volatiles, suivie d'une neutralisation, puis d'un traitement dans une unité de bio-oxydation pour éliminer les substances organiques non volatiles dans l'eau.

Les eaux usées de ruissellement de l'usine sont recueillies, traitées et réutilisées.

Les tours de refroidissement fournissent l'eau de refroidissement pour le complexe chimique intégré. L'eau de purge de ces unités est traitée avant d'être évacuée dans la rivière.

L'effluent domestique est envoyé dans une unité de traitement secondaire.

Étant donné que la compagnie affirme qu'il n'y a pas d'eaux usées évacuées par l'usine de chlore, aucun tableau d'analyse n'a été élaboré. Les solutions des circuits alcalins sont recueillies, neutralisées, puis envoyées dans un bassin de recyclage de l'effluent, où elles subissent un autre traitement avant que l'eau ne soit recyclée dans le procédé.

La saumure non conforme aux spécifications est recueillie des laveurs de cellule lors de la mise en route et de la mise hors de service et est mélangée à la saumure brute.

3.4 Polluants prioritaires et tests biologiques - Méthodes

3.4.1 Polluants prioritaires. - Grâce à des programmes d'échantillonnage et d'analyses, l'EPA a décelé, dans les effluents d'usines équipées de cellules à diaphragme, la présence de quelques substances figurant sur la liste de 129 polluants prioritaires. Les données ont été obtenues par analyse chimique et mesure du débit de circuits d'eaux usées brutes de procédé et d'effluents traités. Les tableaux 19 et 20 présentent l'information recueillie.

La présence de l'un des 129 polluants prioritaires dans l'effluent final des usines équipées de cellules à diaphragme au Canada a été vérifiée par échantillonnage de trois des sept usines en service, selon les méthodes décrites à la section 2.4.

TABLEAU 19 CHARGES MESURÉES DANS L'EFFLUENT BRUT D'USINES À ANODES MÉTALLIQUES AUX ÉTATS-UNIS: RÉSUMÉ

Sous-catégorie	Cellule à diaphragme			
	Charge unitaire (kg/t)			Nombre d'usines*
Polluant	Minimum	Moyenne	Maximum	Moyenne (sur 5)
Antimoine	0,000 003 3	0,000 003 3	0,000 003 3	1
Arsenic	0,000 006 4	0,000 017	0,000 030	3
Cadmium	0,000 001 4	0,000 003 2	0,000 006 1	3
Chrome	0,000 017	0,000 96	0,004 6	5
Cuivre	0,000 014	0,000 20	0,000 64	5
Plomb	0,000 003 9	0,000 16	0,000 60	5
Mercure	0,000 000 7	0,000 001 2	0,000 001 8	2
Nickel	0,000 010	0,000 57	0,001 8	5
Argent	0,000 001 7	0,000 000 7	0,000 000 7	1
Zinc	0,000 054	0,000 78	0,002 1	4

* Ne comprend que les usines où il y avait des teneurs mesurables en polluants.

TABLEAU 20 SUBSTANCES ORGANIQUES TOXIQUES DANS L'EFFLUENT BRUT D'UNE USINE EMPLOYANT DES ANODES EN GRAPHITE, AUX ÉTATS-UNIS

Sous-catégorie	Cellule à diaphragme	
Polluants	Teneur* (kg/l)	Charge (kg/d)
Benzène	0,000 40	0,001 1
Tétrachlorure de carbone	0,023	0,066
Dichloro-1,2	0,079	0,23
Trichloro-1,1,1	0,000 14	0,000 40
Hexachloroéthane	0,010	0,029
Trichloro-1,1,2	0,000 40	0,001 1
Tétrachloro-1,1,2,2	0,000 044	0,000 13
Chloroforme	0,085	0,24
Dichloro-1,1	0,000 026	0,000 074
Dinitro-2,6 toluène	0,000 026	0,000 074
Chlorure de méthylène	0,000 52	0,001 6
Bromoforme	0,000 063	0,000 18
Dichlorobromométhane	0,035	0,10
Chlorodibromométhane	0,002	0,005 7
Hexachlorobutadiène	0,004	0,011
Phtalate de bis(éthyl-2 hexyle)	0,000 75	0,002 2
Phtalate de di-*n*-butyle	0,000 78	0,002 2
Tétrachloroéthylène	0,036	0,10
Toluène	0,003 0	0,008 6
Trichloroéthylène	0,020	0,005 7

* Teneur proportionnelle au débit.

Les données ont été obtenues par analyse chimique et mesure du débit de l'effluent final représentatif d'usines de cette catégorie.

3.4.1.1 MÉTAUX. - Aucun des métaux prioritaires n'a été décelé en concentration significative dans les usines équipées de cellules à diaphragme. Les quantités de métaux dans l'effluent final de ces usines (tableau 21) comprennent les teneurs naturelles et la contribution de l'usine elle-même. Étant donné que les teneurs sont trop faibles pour

TABLEAU 21 TENEURS ET CHARGES EN MÉTAUX PRIORITAIRES DE L'EFFLUENT FINAL D'USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME: RÉSUMÉ

	Teneur		Charges quotidiennes		Charges unitaires	
Polluant	Moyenne (mg/l)	Maximale	Moyenne (kg/d)	Maximale	Moyenne (kg/1000 kg)	Maximale
Cadmium	< 0,001	< 0,01	< 0,072	< 0,08	< 0,000 14	< 0,000 18
Chrome	0,18	0,42	1,38	2,60	0,004 3	0,008
Cuivre	0,02	0,04	0,46	0,73	0,002 3	0,005
Nickel	0,01	0,01	0,35	0,82	0,001 5	0,001 8
Plomb	< 0,010	< 0,02	< 0,38	< 0,65	< 0,008	< 0,001 4
Antimoine	< 0,008		< 0,65	< 0,65	< 0,001 4	
Zinc	0,10	0,15	2,92	4,92	0,006	0,011
Mercure	0,000 2		0,016	0,016	0,000 036	
Arsenic	< 0,03		< 0,18	< 0,18	< 0,000 3	
Amiante	0,54 M fibres/l					

justifier un traitement par des techniques classiques (par exemple, une précipitation chimique), on a renoncé à une telle opération.

L'amiante, utilisé pour former le diaphragme qui sépare les anodes des cathodes, est l'un des principaux polluants prioritaires décelés dans les eaux usées de procédé provenant d'usines équipées de cellules à diaphragme.

L'effluent d'une seule usine a été analysé pour l'amiante. On y dénombra en tout 0,27 et 0,81 million de fibre par litre; cependant, la présence d'autres fibres rendait ce comptage difficile. La plus récente étude épidémiologique aux États-Unis, portant sur la présence d'amiante dans l'eau potable sur l'incidence du cancer, et sur la mortalité par cancer, a montré que l'amiante dans l'eau n'était pas un agent cancérigène.

3.4.1.2 POLLUANTS ORGANIQUES. - Les échantillons ont été prélevés et analysés grâce aux méthodes décrites à la section 2.4.

3.4.2 Tests de toxicité aquatique. - De grands volumes d'échantillons d'effluent final de deux usines équipées de cellules à diaphragme ont été prélevés pour des tests de toxicité aiguë. Les raisons qui motivaient la tenue de tests de toxicité aquatique sont données à la section 2.4.2.

3.4.3 Tests biologiques. - Les produits et les méthodes utilisés pour les analyses de l'effluent final d'usines équipées de cellules à diaphragme, afin d'en déterminer l'activité génotoxique, sont décrits à la section 2.4.3.

3.5 Résultats: commentaires

3.5.1 Polluants classiques. - Comme dans le cas des usines équipées de cellules à mercure, les paramètres étudiés - pH, matières solides en suspension et chlore résiduel - étaient présents en concentrations très variables dans l'effluent final des trois usines employant des cellules à diaphragme et déversant des eaux usées de procédé (tableaux 16, 17, 18).

Normalement, le pH de l'effluent final varie de 6 à 9; cependant, des fluctuations de pH font osciller ce dernier entre 2 et 12,5. Ces usines ajustent le pH par addition d'acide ou d'alcali. Mais, un meilleur ajustement du pH serait possible si la rétention des eaux était plus longue, ce qui permettrait d'obtenir un équilibre complet.

La teneur en matières en suspension provenant d'usines à cellules à diaphragme est normalement faible du fait que les matières solides provenant du traitement de la saumure sont soit envoyées dans un bassin, soit transférées dans les cavités à sel, et que les matières solides de la salle des cellules (principalement de l'amiante usé) sont éliminées dans une décharge contrôlée.

À deux usines, où l'effluent final est déversé dans la mer, les matières solides provenant du traitement de la saumure sont rejetées à un taux prédéterminé. Ces matières solides sont inertes et non toxiques et, vu que la quantité de matières évacuées est très faible, l'effet sur l'environnement est probablement négligeable, sinon nul.

La teneur en chlore résiduel de l'effluent final de la plupart des usines est normalement nulle; cependant, il peut y avoir des fluctuations (de 0 mg/l à 80 mg/l). En raison de la toxicité des faibles teneurs en chlore des eaux usées, un traitement de déchloration s'impose. Le chlore résiduel, après récupération ou décomposition, ou encore les deux, ainsi qu'après les étapes de recyclage mentionnées à la section 3.4, pourrait être traité par des agents réducteurs comme l'anhydride sulfureux ou le peroxyde d'hydrogène, particulièrement si le temps de rétention des eaux est assez long.

3.5.2 Polluants prioritaires et tests biologiques

3.5.2.1 POLLUANTS ORGANIQUES. - Étant donné que leur concentration est très faible, les polluants organiques prioritaires décelés dans les effluents des usines équipées de cellules à diaphragme (tableau 22) n'ont ni une toxicité aiguë ni une toxicité chronique, qu'il s'agisse de vie aquatique en eau douce ou en eau de mer.

3.5.2.2 TESTS BIOLOGIQUES AQUATIQUES. - L'effluent final de l'usine nº 1, non dilué, n'était pas toxique pour les poissons sur une période de 96 heures. L'alcalinité de l'effluent final de l'usine nº 3 était relativement élevée (pH de 11). Une fois le pH réduit à 7,5, l'effluent non dilué n'était pas toxique sur une période de 96 heures.

3.5.2.3 TESTS BIOLOGIQUES. - Seulement un échantillon d'effluent final d'une usine de chlore équipée de cellules à diaphragme a été analysé pour son activité génotoxique grâce à une batterie de 4 tests biologiques à court terme (l'effluent d'une autre usine équipée de cellules à diaphragme a été également analysé pour son activité génotoxique, mais comme l'échantillon renfermait, en plus de l'effluent de l'usine de chlore, l'effluent d'usine de produits chimiques organiques, les résultats n'ont pas été retenus ici).

L'effluent brut a été soumis à des essais de mutagénèse chez *Salmonella typhimurium* selon une méthode "en suspension". L'extrait concentré, préparé à partir de l'échantillon, a été testé pour sa capacité d'induire des mutations chez *Salmonella*, des aberrations chromosomiques dans les cellules ovariennes de hamsters à queue de rat, et enfin la destruction de l'ADN et l'inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN dans des cultures de fibroblastes humains.

L'effluent brut n'a révélé aucune activité mutagène chez *Salmonella* dans tout l'intervalle de doses étudié.

TABLEAU 22 POLLUANTS ORGANIQUES PRIORITAIRES DÉCELÉS DANS L'EFFLUENT FINAL D'USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME, LEURS INTERVALLES DE CONCENTRATION ET LES NORMES QUALITATIVES POUR L'EAU ENVIRONNANTE PROPOSÉES PAR L'EPA

Paramètre	Teneur décelée dans l'effluent C-A (µg/l)	Normes proposées* par l'EPA				
		Vie aquatique dans l'eau douce (µg/l)		Vie aquatique dans l'eau douce (µg/l)		Santé humaine
		Aiguë	Chronique	Aiguë	Chronique	(Estimation)
Chloroforme	2-14	28 900	1 240	-	-	
Tétrachlorure de carbone	2-7	35 200	-	50 000	-	
Dichloro-1,2 éthane	T-7	118 000	20 000	113 000	-	
Trichloroéthylène	T-1	45 000	-	2 000	-	
Bromodichlorométhane	T-28	11 000	-	12 000	6 400	
Toluène	T-2	17 500	-	6 300	5 000	14,3 µg/l
Trichloro-1,1,1 éthane	T-3	18 000	9 400	31 200	-	18,4 µg/l
Dichloro-1,2 propane	0-30	23 000	5 700	10 300	3 040	
Dichloro-1,3 propène (trans et cis)	0-3	6 060	244	790	-	87 µg/l
Dichlorométhane	T-4	224 000	-	-	-	
Bromoforme	0-127	29 300	6 400	24 400	-	
Phtalate de diéthyle	2-6	52 100	-	7 590	-	350 mg/l
Phtalate de dibutyle	4-31	940	-	-	-	34 mg/l
Phtalate de diéthyl-2 hexyle	0-8	11 100	< 3	-	-	15 mg/l
Tétrachloroéthylène	T	5 280	640	10 200	450	
Benzène	T-6	5 300	-	5 100	700	
Phénol	0-4	10 200	2 560	5 800	-	3,5 mg/l
Chlorodibromométhane	0-20	11 000	-	12 000	6 400	

* D'après les rapports *Ambient Water Quality Criteria* de l'EPA.
T: traces.

Par contre, il y avait activité mutagène chez *Salmonella* dans le cas d'extrait d'effluent. Cet extrait entraînait une multiplication par deux du nombre de colonies de la souche TA 100, en l'absence de tout système d'activation enzymatique hépatique. Après addition de S-9 (système d'activation enzymatique hépatique), il y avait augmentation du nombre de colonies en fonction de la dose, mais cette augmentation ne représentait pas le double du nombre normal. Il semble que l'activité enzymatique hépatique altérait les composés étudiés. Cette altération provoquait une perte de l'activité mutagène; il est possible que les composés mutagènes aient été métabolisés en une forme essentiellement non mutagène. Le blanc d'extrait ne manifestait aucune activité mutagène, aussi bien en l'absence qu'en présence de S-9.

Dans le cas de l'extrait d'échantillon, il n'y avait pas d'altérations chromosomiques chez les cellules ovariennes de hamsters à queue de rat, aussi bien en l'absence qu'en présence de S-9.

On n'observait pas de synthèse réparatrice de l'ADN dans les cultures de fibroblastes humains, toujours dans le cas de l'extrait d'échantillon.

Le même extrait ne manifestait aucune inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN, qu'il y ait présence ou absence de S-9.

Les tableaux 23 et 24 présentent sommairement les résultats de ces recherches. Pour plus de détails, se reporter aux tableaux C1 à C6 de l'annexe C.

3.5.3 Commentaires. - La plupart des polluants organiques chlorés toxiques, décelés dans les effluents d'usines de chlore équipées de cellules à mercure se trouvaient également dans les effluents d'usines employant des cellules à diaphragme, à des concentrations à peu près comparables. Les commentaires présentés en 2.6.3 s'appliquent donc également aux usines équipées de cellules à diaphragme.

Dans l'effluent de l'usine équipée de cellules à diaphragme, en plus de nombreux composés organiques chlorés, il y avait du bromoforme et du dibromochlorométhane. Comme l'ont révélé des essais au Centre de recherches sur le cancer de Colombie-Britannique, le bromoforme n'a un pouvoir mutagène sur *Salmonella typhimurium* qu'en dessiccateur, mais non lorsqu'il est incorporé dans de l'agar.

L'effluent final de l'usine équipée de cellules à diaphragme renfermait des agents mutagènes et cancérigènes connus, ainsi que de nombreux composés qui pourraient être eux aussi mutagènes et(ou) cancérigènes; cependant, il n'y avait aucune activité génotoxique lorsque l'effluent brut était soumis au test d'Ames, et seulement deux fois plus d'activité mutagène chez la souche TA 100 sans système d'activation enzymatique hépatique, et enfin une augmentation inférieure à deux fois plus après addition de S-9.

TABLEAU 23 ANALYSE DES ÉCHANTILLONS D'EFFLUENT: RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

Effluent N° de code	Effluent brut				Extrait					
	Mutagénèse chez Salmonella		Mutagénèse[a] chez Salmonella		Aberration[b] chromosomiques		Synth. Rép.[c] ADN		Inhibition[d] synth. rép. ADN	
		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1	-	-	+	±	-	-	-	-	-	-

[a] Mutagénèse chez Salmonella:
+ = positive: le nombre de colonies est au moins le double du nombre normal.
± = l'augmentation du nombre de colonies est liée à la dose, mais il n'atteint pas le double du nombre normal.
- = négative: aucun des deux cas ci-dessus.
[b] Pourcentage de métaphases avec aberrations chromosomiques: - = 0 % - 4 %; ± = 5 % - 9 %; + = ⩾ 10 %.
[c] Nombre maximal moyen de grains observés par noyau: - = 0 % - 4 %; ± = 5 % - 9 %; + = ⩾ 10 %.
[d] Inhibition de la synthèse réparatrice de l'ADN: + = inhibition observée; - = inhibition non observée.

TABLEAU 24 TESTS DE MUTAGÉNÈSE CHEZ SALMONELLA: RÉSUMÉ DES RÉSULTATS

Effluent N° de code	Effluent brut					Extrait				
	1535	100	1537	1538	98	1535	100	1537	1538	98
	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9	+S-9
1	- -	- -	- -	- -	- -	- -	+2 ±	- -	- -	± ±

+ = positive: le nombre de colonies est au moins le double du nombre normal. Le chiffre indique la multiplication du nombre de colonies mutantes par rapport à la normale.
± = l'augmentation du nombre de colonies est liée à la dose, mais il n'atteint pas le double de la valeur normale.
- = négative: aucun des deux cas ci-dessus.

L'analyse de la mutagénèse des eaux usées se complique de nombreux problèmes techniques:

a) Les résultats varient d'un test biologique à l'autre en raison des différences de sensibilité et d'applicabilité entre les diverses classes de produits chimiques; de plus, chaque chercheur choisit sa propre méthode expérimentale, et il analyse et interprète les données à sa façon;

b) Les eaux usées, comme tout échantillon complexe de l'environnement, peuvent renfermer des substances mutagènes dans un milieu de substances inoffensives et toxiques;

c) Dans certains cas, les mutations ont pu être induites par synergisme entre deux ou plusieurs composés, dont les concentrations étaient probablement trop faibles pour induire individuellement l'anomalie; dans d'autres cas, il peut y avoir présence d'un seul composé mutagène dans les eaux usées, dont la concentration sera trop faible pour induire seul la mutation. Par conséquent, il est presque impossible d'obtenir une réaction mutagène claire et nette ainsi qu'une courbe linéaire dose-réaction, comme avec les composés purs.

En plus des nombreux problèmes techniques, les résultats du test de génotoxicité pour les usines équipées de cellules à diaphragme sont obtenus avec un échantillon d'effluent isolé, et ils ne permettent donc pas d'évaluer les risques possibles pour la santé humaine ni les autres effets sur l'environnement. Pour pouvoir évaluer efficacement les effets des eaux usées provenant d'usines de chlore sur l'environnement, il faut également tenir compte des facteurs suivants: dilution de l'effluent après son entrée dans les eaux en aval; risque de pénétration de l'effluent dans les sources d'approvisionnement en eau potable; comportement des polluants toxiques (bio-accumulation, volatilisation, sorption, etc.); fluctuation du taux de rejet de polluants toxiques par une usine.

3.6 Options de décontamination et méthodes de traitement

3.6.1 Polluants classiques. - Les modifications internes sur le plan des procédés ont sensiblement réduit la charge de polluants déversée par les usines de chlore. Parmi ces modifications, on peut citer les suivantes:

- séparation des eaux usées contaminées des eaux usées relativement propres,
- maximisation du recyclage des eaux usées contaminées,
- traitement des eaux usées restantes.

Ces modifications ont permis de réduire aussi bien les charges de polluants classiques que celles de polluants prioritaires. Les paragraphes qui suivent décrivent d'autres modifications à l'intérieur de l'usine, qui aideront à réduire la charge en polluants des eaux usées évacuées.

3.6.1.1 CONSTITUANT DE L'ANODE. - Trois des six usines utilisent des anodes à dimensions stables, plutôt que des anodes en graphite. Le type d'anode employée aux trois autres usines n'a pas été divulgué. L'utilisation d'anodes à dimensions stables augmente le rendement du courant, réduit sensiblement la charge en polluants organiques toxiques des eaux usées de l'usine et donne un gaz cellulaire de grande pureté, ce qui, avec l'emploi d'unités de réfrigération dans le circuit de récupération du chlore, permet de réduire la quantité de gaz libéré par le système de liquéfaction du chlore.

Il y a normalement de fortes teneurs en plomb dans les eaux usées de la salle des cellules d'usines de chlore équipées d'anodes en graphite.

D'après les responsables des trois usines dont le type d'anode n'a pas été divulgué, le plomb ne serait utilisé ni pour assurer le contact électrique ni comme support (et il ne devrait donc pas y avoir de plomb dans les eaux usées de la cellule); de plus, toujours dans ces mêmes usines, toutes les impuretés organiques chlorées provenant du rebouilleur de chlore sont employées comme matières premières pour la fabrication de produits chimiques apparentés, à l'intérieur du même complexe industriel.

3.6.1.2 DÉCONTAMINATION DES GAZ DE QUEUE. - Comme dans le cas des usines équipées de cellules à mercure, le chlore doit être enlevé ou récupéré des gaz de queue avant de relâcher ceux-ci dans l'atmosphère. À toutes les usines, le gaz est épuré à l'aide de soude caustique. L'hypochlorite de sodium produit est ensuite vendu, utilisé sur place, décomposé et recyclé, ou encore évacué. Des méthodes de décomposition chimique ou catalytique sont employées.

3.6.1.3 CONDENSATS DE CHLORE ET ACIDE DÉSHYDRATANT USÉ. - Les remarques faites pour les usines équipées de cellules à mercure s'appliquent également aux usines ayant des cellules à diaphragme. À deux de ces dernières usines, le condensat de chlore est transféré dans une usine voisine, faisant partie du même complexe chimique.

3.6.1.4 EAU DE L'ÉVAPORATEUR DU CIRCUIT DE SOUDE CAUSTIQUE. - Les vapeurs formées lors de la concentration par évaporation de la soude caustique sont refroidies dans des condenseurs à surface dans trois des usines, et dans des condenseurs barométriques dans les trois autres. La quantité d'eaux usées produite peut être

considérablement réduite en utilisant des échangeurs de chaleur à surface, ou par recirculation de l'eau sortant des condenseurs barométriques.

À l'une des usines employant des condenseurs barométriques, l'eau de ces derniers est recyclée vers les tours de refroidissement. Étant donné qu'aux deux autres usines à condenseurs barométriques, le liquide de refroidissement est l'eau de mer, l'entraînement de sel et de soude caustique par la vapeur a très peu d'effet sur la composition de cette eau.

3.6.1.5 AMIANTE. - Les résidus d'amiante résiduel sont stockés dans des bassins et sont ultérieurement déversés dans des décharges; ou alors, l'amiante est filtré, stocké dans des barils, et le tout est évacué dans une décharge.

Étant donné que les résidus d'amiante sont complètement insolubles dans une décharge, la méthode d'élimination recommandée est la filtration et le chargement dans des barils, ou la décantation dans des bassins, avec élimination ultérieure dans une décharge contrôlée. L'effluent provenant de ces opérations devrait être recyclé ou réutilisé.

À côté de ces moyens de décontamination à l'intérieur de l'usine, d'autres mesures sont généralement requises pour compléter le traitement des eaux usées. Les eaux usées sont habituellement divisées en eau de refroidissement et en eau de procédé.

Une eau de refroidissement non recyclée devrait pratiquement être exempte de matières en suspension et de sels dissous, sauf dans les cas où l'on utilise de l'eau de mer comme eau de refroidissement. Tout contaminant présent provient normalement de fuites, décelables à l'aide d'équipements de mesure et de contrôle (si l'eau de refroidissement est de l'eau douce). L'acidité et l'alcalinité sont déterminées grâce à des pHmètres, souvent installés pour permettre de mesurer et de contrôler le pH en continu. Les teneurs en matières dissoutes peuvent être estimées en mesurant la conductivité, celles des matières solides en suspension en mesurant la turbidité, et enfin la concentration d'ions donnés peut être connue par colorimétrie ou à l'aide d'électrodes pour les ions spécifiques.

Dans tous les cas, la quantité de contaminants présents dans l'eau de refroidissement est probablement très faible, et aucun traitement ne devrait être nécessaire. Par contre, les eaux usées du procédé en nécessitent un.

Les matières en suspension, les matières dissoutes, le pH et le chlore résiduel sont les principaux paramètres classiques qui pourraient entraîner des difficultés lors de la production de chlore par le procédé utilisant des cellules à diaphragme.

Les boues provenant de la purification de la saumure constituent la principale source de résidus solides générés par ces usines. Les bassins ou cuves de décantation sont les principaux moyens utilisés pour diminuer la teneur en matières en suspension des eaux usées des usines. Le rendement et le coût de ces moyens est fonction de la quantité de résidus produits et des caractéristiques de décantation des matières en suspension. Le degré de pureté des matières premières employées pour fabriquer du chlore influe évidemment sur la charge de résidus. Il faut prendre en considération le coût des matières premières et leur pureté par rapport au coût du traitement des résidus et de leur élimination.

Parmi les autres matières en suspension provenant de l'usine, on peut citer les résidus solides entraînés par l'eau de surface et les constituants des électrolyseurs (morceaux de béton, fibres d'amiante, etc.) arrachés lors de leur remise à neuf. Ces matières solides vont se déposer dans des bassins ou sont transférées dans des décharges contrôlées, ou encore les deux.

La plupart des eaux usées résultant de la production de chlore et de soude ou de potasse sont soit acides, soit alcalines, ou alors réagissent avec l'eau pour donner des solutions acides ou alcalines. Avant l'évacuation de l'effluent dans les eaux de surface, cette acidité ou cette alcalinité doivent être vérifiées et ajustées au besoin. L'excès d'acidité ou d'alcalinité peut être neutralisé grâce respectivement aux circuits basique et acide existant déjà dans l'usine. S'il n'existe pas d'installations de retenue, il peut se produire de fortes fluctuations de pH (tableaux 16, 17 et 18).

Normalement, les teneurs en chlore résiduel ne sont pas décelables ou sont inférieures à 0,1 mg/l. Mais, elles peuvent atteindre exceptionnellement des valeurs très élevées, par exemple lors de la mise en route du procédé ou de perturbations dans celui-ci, ou encore s'il se produit des fuites non décelées. Les déversements de chlore peuvent être graves, du fait que ce dernier, même en très faible concentration, est toxique pour les poissons, et que l'interaction du chlore résiduel et des composés organiques solubles risque de conduire à la formation d'hydrocarbures chlorés.

La déchloration peut être effectuée par réaction des solutions chlorées avec du sulfite de sodium, du métabisulfite de sodium ou du dioxyde de soufre. La déchloration au dioxyde de soufre semble la méthode la moins coûteuse et la plus courante. La réaction est presque instantanée et un système de traitement en continu, basé sur cette réaction devrait pouvoir être utilisé directement dans le circuit chloré, si la teneur en chlore résiduel y est relativement constante. Lorsqu'il y a des pics élevés de teneur, un système de retenue ou de stockage est nécessaire pour égaliser la teneur.

À deux usines, où l'extraction de sel par dissolution est pratiquée, et où on dispose de cavités à sel ou de puits profonds, ou des deux, il existe une situation idéale du fait que les eaux usées de procédé ne sont pas évacuées; en effet, la majeure partie de ces eaux sont recyclées et réutilisées, et les matières solides du traitement de la saumure sont déversées dans un puits profond ou dans une cavité à sel. De plus, certains condensats sont réutilisés dans d'autres usines du complexe chimique intégré. Sans l'utilisation de cavités à sel, de puits profonds ou de bassins d'évaporation, les déversements ne pourraient être complètement supprimés.

3.6.2 Polluants prioritaires. - L'amiante utilisé comme diaphragme pour séparer l'anode de la cathode est probablement le principal polluant prioritaire qui se retrouve régulièrement dans les eaux usées de procédé, évacuées par ces usines. La meilleure technique pour éliminer les fibres d'amiante des eaux de lavage de la salle des cellules, ainsi que dans les eaux usées d'entretien des cellules, est le confinement, suivi de décantation en bassin ou de filtration. Les matières solides doivent être déversées dans une décharge autorisée. Comme la taille des fibres est de l'ordre du micromètre, il faut employer des agents de floculation, et toutes les eaux de lavage doivent être recyclées ou réutilisées.

Trois des usines utilisent des anodes à dimensions stables, et les trois autres usines n'emploient pas de plomb; aucune des usines canadiennes équipées de cellules à diaphragme ne produit donc des effluents à forte teneur en plomb. En fait, toutes les teneurs en métaux étaient inférieures à celles qui exigeraient un traitement selon les critères pratiques actuels.

Il y avait des polluants organiques prioritaires en quantités mesurables dans les effluents finals. Le tableau 25 présente une liste des teneurs en divers composés décelés. Le même tableau indique également comment se comportent ces contaminants dans le milieu aquatique, et enfin il donne une liste des meilleures méthodes de traitement pour éliminer des contaminants des eaux usées.

Étant donné que les circuits d'eaux usées n'ont pas fait individuellement l'objet d'analyses pour y rechercher les polluants prioritaires, il a été impossible de déterminer la source de ces polluants à l'intérieur de l'usine. Pour la plupart des usines, si on considère les avantages qui en découleraient, un traitement permettant d'éliminer les composés organiques chlorés dans l'effluent final de l'usine serait trop coûteux; de plus, il n'est pas encore démontré que les faibles teneurs en polluants prioritaires décelés dans l'effluent final peuvent avoir des répercussions majeures.

TABLEAU 25 POLLUANTS ORGANIQUES PRIORITAIRES, DÉCELÉS DANS L'EFFLUENT FINAL DES USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME, LEUR COMPORTEMENT EN MILIEU AQUATIQUE ET TRAITEMENTS POSSIBLES

Paramètre	Conc. décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement en milieu aquatique[1]					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement[2]
Chloroforme	2-14	Probablement peu importante	Probablement peu importante	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Faible à modérée	L'extraction à la vapeur et l'adsorption sur charbon actif seraient les meilleures méthodes
Tétrachlorure de carbone	2-7	Probablement peu importante	Trop lente pour être significative	Processus de transport primaire	Pas de preuve évidente de conc. sélective dans les sédiments	Résultats non concluants	Flottation gazeuse, adsorption sur charbon actif en grains et précipitation par addition d'alun et de chaux
Dichloro-1,2 éthane	T-7	Semble non significative	Probablement trop lente pour être significative	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Probablement non significative	Précipitation par addition d'alun et de polymère
Trichloro-éthylène	T-1	Ne se produit probablement pas	Probablement trop lente pour être significative	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Évidence d'accumulation par certains organismes marins	Flottation gazeuse, boues activées, adsorption sur charbon actif en grains et osmose inverse
Bromodichloro-méthane	T-28	Aucune information trouvée	Trop lente pour être significative	Pas d'infor. spécifique. Probablement processus de transfert significatif	Pas d'inf. spécifique	Bio-accumulation possible	Flottation gazeuse et addition d'alun et de polymère, ou adsorption sur charbon actif en grains

TABLEAU 25 (suite)

Paramètre	Conc. décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement en milieu aquatique[1]					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement[2]
Toluène	T-2	Coupure photolytique directe énergiquement improbable	Non significative	Processus significatif	N'a pu être déterminée	Probablement peu importante	Décantation biologique, adsorption sur charbon actif en grains et strippage à la vapeur ou aération
Trichloro-1,1,1 éthane	T-3	Probablement peu importante	Probablement trop lente pour être significative	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Probablement peu importante	Boues activées (probablement formées lors du strippage) et adsorption sur charbon
Dichloro-1,2 propane	0-30	Aucune donnée	Aucune donnée, probablement importante	Composé volatil mais peut revenir par précipitation	Aucune donnée, peut-être adsorption modérée	Aucune donnée; peut-être bio-accumulation modérée	Boues activées et adsorption sur charbon
Dichloro-1,3 propène (trans et cis)	0-3	Aucune donnée	Semble lente mais pourrait être importante	Processus de transport primaire	Aucune donnée	Aucune donnée; probablement peu importante	Biodégradation
Dichlorométhane	T-4	Probablement peu importante	Probablement non significative	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Probablement non significative	Précipitation par addition d'alun ou flottation gazeuse avec addition d'alun
Bromoforme	0-127	Aucunes informations	Trop lente pour être significative	Peu d'inf., pourrait constituer un processus de transport significatif	Aucunes informations	Possible chez certains organismes	Adsorption sur charbon actif en poudre

TABLEAU 25 (suite)

Paramètre	Conc. décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement en milieu aquatique[1]					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement[2]
Phtalate de diéthyle	2-6	Photolyse directe improbable	Non considérée comme un processus compétitif	Moins importante que l'adsorption	Sorption sur MSS et biocénoses probablement la plus importante	Considérée comme un processus important	Précipitation avec addition de produits chimiques et boues activées
Phtalate de dibutyle	4-31	Photolyse directe improbable	Non considérée comme un processus compétitif	Moins importante que l'adsorption	Sorption sur MSS et biocénoses probablement la plus importante	Processus important	Flottation gazeuse avec addition de produits chimiques, précipitation avec addition de produits chimiques et charbon actif en grains
Phtalate de diéthyl-2 hexyle	0-8	Photolyse directe improbable	Processus lent, non compétitif	Moins importante que l'adsorption	Probablement processus de transport le plus important	Processus important	Précipitation avec addition de produits chimiques; bassins aérés et charbon actif en poudre
Tétrachloroéthylène	T	Probablement inexistante	Probablement trop lente pour être significative	Processus de transport primaire	Probablement peu importante	Preuve de bioaccumulation chez les organismes marins, mais non en amont de la chaîne alimentaire	Flottation gazeuse avec addition d'alun et de polymère; précipitation avec de l'alun ou de la chaux; boues activées
Benzène	T-6	Probablement non significative	Probablement non significative	Probablement processus de transport primaire	Aucunes informations; processus possible	Probablement faible bioaccumulation	Bassin aéré, o.i. ou flottation gazeuse avec polymère

TABLEAU 25 (suite)

Paramètre	Conc. décelées dans l'effluent C-A (µg/l)	Comportement en milieu aquatique[1]					
		Photolyse	Hydrolyse	Volatilisation	Sorption	Bio-accumulation	Traitement[2]
Phénol	0-4	Pourrait être un processus de dégradation important	Ne s'applique pas	Possibilité	Processus non significatif	Processus non significatif	Flottation gazeuse avec polymère, précipitation avec de la chaux, un polymère ou de l'alun, adsorption sur charbon actif en grains
Chlorodibromométhane	0-20	Aucune information	Trop lente pour être significative	Probablement processus de transport significatif	Adsorption sur charbon actif, probablement significative	Bio-accumulation possible	Précipitation avec addition de produit chimique

1. D'après *Water-Related Environmental Fate of 129 Priority Pollutants* de l'EPA.
2. D'après le volume 1 du *Treatability Manual* de l'EPA.

Au besoin, les hydrocarbures chlorés devront être surveillés dans chaque circuit et si certains d'entre eux renferment le gros des polluants prioritaires, alors il serait tout à fait indiqué de procéder à leur élimination par une des méthodes de traitement figurant au tableau 25.

Il se peut que le problème puisse être résolu ou sensiblement atténué par l'installation d'équipement de déchloration, si le chlore résiduel réagissant avec les composés organiques solubles présents dans les eaux usées se révélait être à l'origine de la formation de la majeure partie des polluants prioritaires décelés.

3.6.3 Choix de la méthode appropriée. - Trois usines équipées de cellules à diaphragme pourraient être qualifiées d'exemplaires; en effet l'une d'entre elles n'évacue aucune eau de procédé, et les deux autres ne déversent à l'extérieur que de faibles quantités d'eau de procédé relativement propre. Malheureusement, la plupart des usines de chlore au Canada ne disposent ni de cavités à sel, ni de puits profonds, ni d'installations de stockage de grande capacité dans des régions à faibles précipitations. Elles sont donc obligées de rejeter à l'extérieur d'importantes quantités de ces eaux usées de procédé.

Pour toutes ces raisons, les techniques suivantes sont proposées:

a) Les matières solides provenant du saturateur pour la saumure et celles du traitement doivent être séparées par filtration de la saumure, puis lavées pour éliminer la saumure résiduelle, ou transférées pour décantation dans des bassins munis d'un revêtement. La saumure peu concentrée, le filtrat et les eaux de lavage doivent être recyclés dans le procédé. Les matières solides seront envoyées dans une décharge.

b) Les eaux de lavage des cellules, chargées d'amiante, doivent être traitées par addition d'agents floculants, puis filtrées sous pression, ou transférées dans un bassin muni d'un revêtement. Dans tous les cas, les matières solides seront déversées dans une décharge approuvée, et les eaux usées recyclées.

c) Les eaux de la salle des cellules, c'est-à-dire les fuites, les déversements accidentels et les eaux de lavage de cette section, qui peuvent toutes renfermer des métaux prioritaires, doivent être recyclées dans le procédé.

d) Les solutions de l'épurateur des gaz de queue seront vendues, utilisées, ou décomposées et recyclées dans le circuit de la saumure.

e) L'acide sulfurique usé doit être régénéré pour réutilisation, vendu, employé pour ajuster le pH de l'effluent final ou neutralisé avant son évacuation.

f) Les autres déchets du procédé, comme les eaux de lavage à contre-courant du filtre de la solution caustique, les déchets contenant du chlore, les purges de la tour de refroidissement, les déchets provenant du système de traitement de l'eau, les purges de la chaudière, les eaux de ruissellement, etc., doivent être combinés dans un bassin de stockage, leur pH ajusté, déchlorés, puis évacués après avoir été recyclés et(ou) réutilisés au maximum.

4 PROCÉDÉ UTILISANT LA CELLULE À MEMBRANE

4.1 Description du procédé de la cellule à membrane

Dans le procédé de la membrane échangeuse d'ions, une membrane d'échange cationique sert à séparer le compartiment anodique du compartiment cathodique et à empêcher ainsi les ions hydroxyles (OH^-) de passer du compartiment cathodique au compartiment anodique. La membrane à échange cationique sert également à empêcher les ions chlore (Cl^-) de passer du compartiment anodique au compartiment cathodique, mais elle permet le passage des ions sodium (Na^+) du compartiment anodique au compartiment cathodique (la figure 5 présente un schéma du compartiment de la membrane et du montage de la cellule).

La cellule Hooker MX, utilisée à Dryden, ressemble à un filtre-presse multicellulaire. Chaque cellule comprend un compartiment anodique, avec une anode à dimensions stables, et un compartiment cathodique. Une ou plusieurs membranes plates échangeuses d'ions d'une superficie d'environ un mètre carré séparent les deux compartiments. Les cellules sont reliées et disposées électriquement en série.

Dans la cellule MX, l'alimentation est constituée de saumure saturée et d'eau pure. À l'anode, les ions chlorures perdent un électron pour donner du chlore gazeux. À la cathode, les ions hydronium (présents avec les ions hydroxyles dans l'eau) gagnent un électron et donnent de l'hydrogène et de l'eau, ce qui laisse une solution d'hydroxyde de sodium basique. Le circuit électrique est complété par les ions sodium positifs qui circulent, à travers la membrane, de l'anode vers la cathode. Un petit nombre d'ions chlorures passent à travers le compartiment de la cathode, mais ce processus devient négligeable si on utilise deux membranes.

La cellule Asahi, utilisée aux deux autres usines canadiennes, est de type bipolaire à plusieurs structures. Le compartiment anodique est recouvert de titane, et le compartiment cathodique est constitué d'acier. Toutes les composantes des deux compartiments sont en métal, ce qui permet de faire fonctionner la cellule à une température de 90 °C sans risque de corrosion. Cela permet aussi de récupérer la chaleur produite durant l'électrolyse et de l'utiliser pour l'évaporation de l'eau de la solution de soude caustique.

La membrane échangeuse d'ions, d'une surface réelle d'environ 2,7 m^2, est montée entre les compartiments anodique et cathodique.

Les anodes et les cathodes voisines sont parfaitement parallèles l'une à l'autre et espacées d'environ 2 mm à 3 mm. Un seul électrolyseur comporte environ 80 électrodes bipolaires par corps et peut produire 10 000 tonnes de soude caustique par année.

1. Cadres des cellules
2. Plaque en acier au titane
3. Anode
4. Cathode
5. Renforts du compartiment
6. Supports
7. Membrane échangeuse d'ions

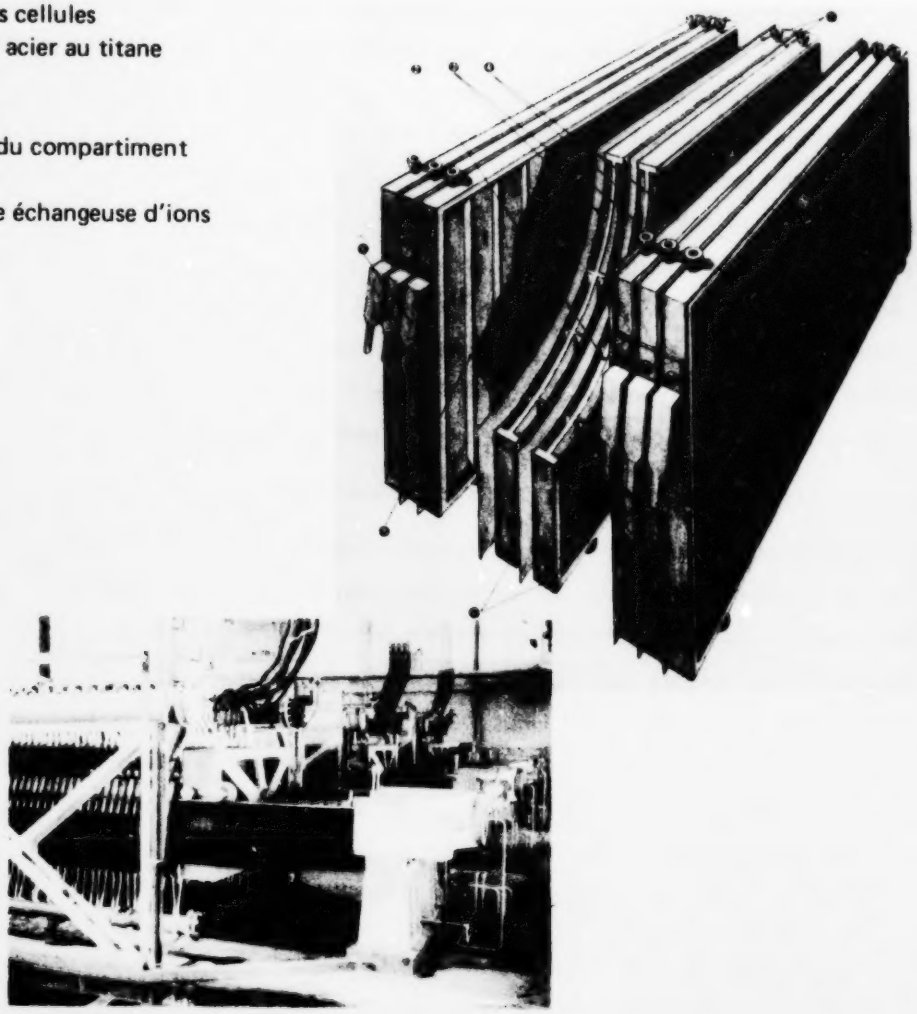


FIGURE 5 SCHÉMA DU COMPARTIMENT D'UNE CELLULE À MEMBRANE ET DU MONTAGE DE LA CELLULE (reproduit du livret de renseignements sur le procédé de fabrication de chlore-alcalis grâce à la membrane chimique Asahi)

On fait passer la solution de sel saturé dans un système de pré-traitement de la saumure, suivi d'un lit de résine échangeuse d'ions pour séparer les cations polyvalents. La solution de sel saturé est ensuite introduite dans le compartiment anodique (figure 6). Les ions sodium passent du côté anodique à travers la membrane d'échange cationique, et les ions sodium forment de l'hydroxyde de sodium avec les ions hydroxydes produits à partir de l'eau à la cathode. De l'eau pure est injectée dans le circuit du catholyte pour maintenir une concentration donnée dans cette solution. Une partie du catholyte (contenant environ 21 % de NaOH) est transférée telle quelle du réservoir de catholyte jusqu'à des usines de pâtes et papiers voisines, ou passe dans l'évaporateur à récupération thermique pour être concentré. Du chlore gazeux est produit à l'anode; il est utilisé dans des usines voisines, ou liquéfié et stocké pour vente ultérieure.

4.2 Consommation d'eau et sources d'eaux usées

4.2.1 Consommation d'eau. - La consommation d'eau par les usines équipées de cellules à membrane est semblable à celle des usines équipées de cellules à diaphragme, et elle sert pour les procédés et systèmes suivants: refroidissement sans contact, purification des gaz de queue, lavage des cellules, circuit de la saumure, entretien général, lavage à contre-courant du filtre, condenseur barométrique. S'il n'y a pas refroidissement sans contact, ou si l'eau du condenseur n'est pas recyclée, seule l'eau d'appoint pour la purge est nécessaire. De plus, de l'eau pure doit être ajoutée au réservoir de catholyte, ainsi qu'au déioniseur et au déminéraliseur.

4.2.2 Sources d'eaux usées

4.2.2.1 BOUES DE L'UNITÉ DE DISSOLUTION. - Une seule des usines utilise du sel gemme comme matière première pour préparer la saumure. Les matières solides provenant du réservoir de dissolution sont filtrées et transférées dans un grand clarificateur, utilisé pour traiter l'effluent de l'usine de pâtes et papiers. Les matières solides de ce clarificateur sont évacuées dans une décharge autorisée. Les deux autres usines utilisent des puits à saumure et du sel obtenu par évaporation.

4.2.2.2 BOUES DE LA SAUMURE. - L'une des usines emploie des puits à saumure en circuit fermé; toutes les matières solides du traitement de la saumure et du lavage à contre-courant du filtre sont donc envoyées dans la cavité à sel. Une autre usine utilise du sel obtenu par évaporation, et il n'y a donc que de faibles quantités de boues de saumure et d'eau de lavage à contre-courant du filtre. Cet effluent est dirigé vers un bassin de retenue. À la troisième usine, les matières solides résultant de la purification de

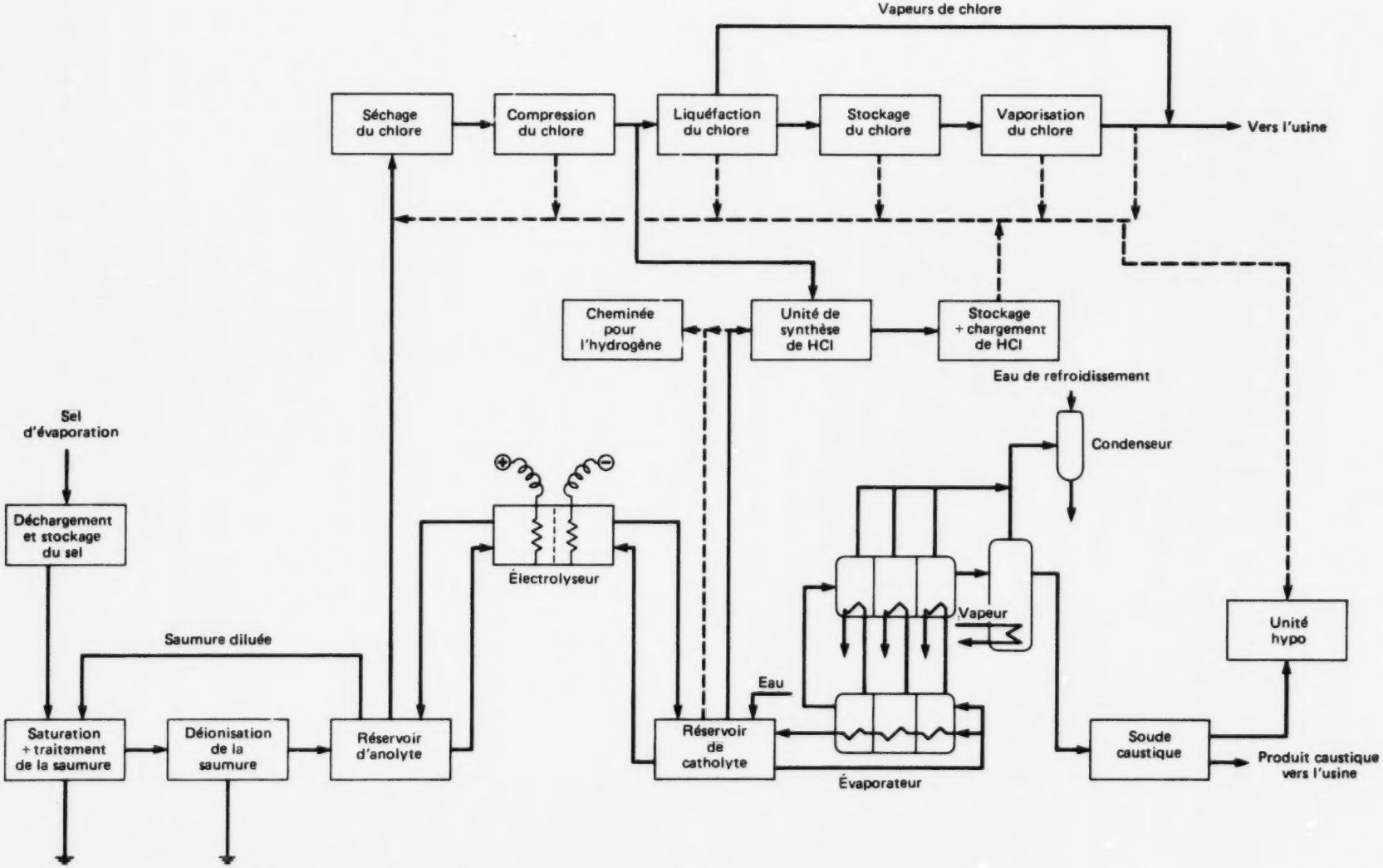


FIGURE 6 DIAGRAMME DU PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CHLORE ET DE SOUDE CAUSTIQUE AVEC CELLULES À MEMBRANE

la saumure et provenant du sous-écoulement du clarificateur sont d'abord filtrées puis transférées dans le clarificateur de l'usine de pâtes et papiers. L'eau de lavage à contre-courant des filtres sert à mettre en suspension les matières solides de la saumure pour permettre leur pompage vers le clarificateur.

La quantité évacuée de boues de saumure et d'eau de lavage à contre-courant du filtre varie de 0,01 m^3 à 0,15 m^3 par tonne de chlore produite.

4.2.2.3 RÉGÉNÉRATION DU DÉIONISEUR DE SAUMURE. - À deux des usines, les cations polyvalents sont séparés de la saumure avant d'entrer dans l'électrolyseur, grâce à des résines échangeuses d'ions. Les lits de résines doivent être régénérés. La quantité de produit nécessaire pour la régénération est en moyenne de 0,4 m^3 par tonne de chlore produite. Dans l'une des usines, le régénérant, qui renferme du NaOH, du HCl et du NaCl, est évacué avec l'effluent; dans l'autre, il est envoyé dans une cavité à sel.

4.2.2.4 RÉGÉNÉRATION DU DÉMINÉRALISEUR D'EAU. - Dans les usines équipées de cellules à membrane, il faut ajouter de l'eau très pure au circuit du catholyte. La régénération du déminéraliseur donne environ 0,04 m^3 d'eaux usées par tonne de chlore produite. Ces eaux sont évacuées avec l'effluent ou envoyées dans une cavité de sel.

4.2.2.5 RÉSIDUS DE LA SALLE DES CELLULES. - Les principaux résidus de la salle des cellules proviennent des fuites, des déversements accidentels et de l'entretien général de l'installation. La quantité d'eaux usées varie d'une usine à l'autre et dépend des conditions de fonctionnement.

4.2.2.6 CONDENSAT DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT. - Le refroidissement sans contact du chlore gazeux saturé de vapeur d'eau est pratiqué aux trois usines. Le condensat résultant, qui renferme du chlore, est recyclé dans le procédé après récupération du chlore. On ne possède pas de chiffres sur les débits.

4.2.2.7 ACIDE SULFURIQUE USÉ. - Après avoir perdu une partie de son humidité lors d'un premier refroidissement, le chlore passe dans une tour de séchage à l'acide sulfurique où il perd son humidité résiduelle. Dans la plupart des cas, c'est de l'acide à 70 % qui est utilisé. L'acide usé peut être régénéré en vue de sa réutilisation (dans les usines de pâtes à papier, ou pour l'ajustement du pH de l'effluent), vendu ou évacué.

4.2.2.8 LIQUIDE DE L'ÉPURATEUR DES GAZ DE QUEUE. - Une unité d'absorption avec formation d'hypochlorite utilise soit de l'hydroxyde de sodium, soit de l'hydroxyde de calcium pour traiter les gaz résiduels. Elle absorbe, normalement: (*a*) le chlore gazeux

résiduel provenant du procédé de liquéfaction, (*b*) d'autres gaz d'échappement, (*c*) le chlore gazeux formé lors de la mise en route de l'installation ou pendant les situations d'urgence.

L'hypochlorite formé peut être utilisé dans d'autres usines, vendu, décomposé ou évacué (on ne possède aucun chiffre sur les quantités).

4.2.2.9 CONDENSAT DU SYSTÈME DE REFROIDISSEMENT DE L'HYDROGÈNE. - Le refroidissement de l'hydrogène gazeux en vue de sa réutilisation ou de sa vente donne un condensat, qui est normalement recyclé dans le procédé ou évacué dans l'égout.

4.2.2.10 EAUX USÉES DU CONDENSEUR BAROMÉTRIQUE. - Le condenseur barométrique, employé avec l'évaporateur de la soude caustique, agit sur les vapeurs chaudes provenant de l'évaporateur, ce qui crée un puissant vide dans le système. Pour fonctionner, il a besoin de grandes quantités d'eau. À l'une des usines, l'eau du condenseur barométrique est recyclée dans la tour de refroidissement. À une autre usine, seulement une petite fraction de la solution caustique est évaporée, l'eau de refroidissement du condenseur n'étant pas recyclée. À la troisième usine, toute la solution à 20 % d'hydroxyde de sodium est consommée dans l'usine de pâte à papier voisine; autrement dit, la solution caustique n'est pas du tout traitée par évaporation.

4.2.2.11 PURGE DE LA CHAUDIÈRE. - Seule une usine purge sa chaudière. En effet, aux deux autres, la vapeur provient des usines de pâte à papier voisines. Dans le premier cas, l'eau de purge passe directement dans l'égout (on n'a pas d'information précise, mais il semble que ces eaux usées pourraient renfermer beaucoup de phosphates et de sulfites).

4.2.2.12 PURGE DES TOURS DE REFROIDISSEMENT. - Seule une usine utilise des tours de refroidissement. L'eau évacuée de ces tours passe dans des refroidisseurs indirects (acide sulfurique) avant d'être évacuée dans les égouts (on ne possède aucune information sur les volumes ainsi déversés).

4.2.2.13 EFFLUENT DOMESTIQUE. - L'effluent domestique des usines équipées de cellules à membrane est envoyé soit dans des fosses septiques, soit dans l'égout.

4.2.2.14 EAUX DE RUISSELLEMENT. - La quantité et la qualité des eaux de ruissellement provenant de ces usines sont déterminées par les caractéristiques locales.

À l'une des usines, les eaux de pluie s'écoulent dans un bassin, où les matières solides se déposent, mais le pH n'y est pas ajusté. Aux deux autres usines, la majeure partie de l'eau de ruissellement passe dans l'effluent final.

4.2.2.15 DÉBITS D'EAUX USÉES: RÉSUMÉ. - Les eaux usées, c'est-à-dire les eaux usées de procédé, les eaux de purge de la tour de refroidissement et celles de la chaudière (s'il y en a), les résidus des installations de traitement de l'eau, les eaux usées du condenseur barométrique, et l'eau de ruissellement du terrain de l'usine totalisent en moyenne 2500 l par tonne du chlore produit.

4.3 Polluants classiques - Méthodes

Le nombre de données analytiques détaillées sur les polluants classiques présents dans les eaux usées de procédé générées par les usines équipées de cellules à membrane est très limité.

L'une des usines, qui est relativement neuve, n'a pas fait l'objet d'analyses, et, par conséquent, seules les concentrations estimatives figurent dans le présent rapport.

Dans l'une des deux autres usines, les charges en mercure ont fait l'objet d'une surveillance au cours des deux ou trois dernières années, et comme l'effluent final est envoyé dans le système de traitement de l'effluent final d'une usine de pâtes et papiers, les teneurs en autres contaminants n'ont pas été déterminées.

Dans la troisième usine, la compagnie effectue quotidiennement des analyses, et les organismes gouvernementaux en font à intervalles réguliers. La section 4.4 du présent rapport présente les résultats obtenus.

4.4 Description de chaque usine

Les descriptions qui suivent précisent les moyens de décontamination et de traitement des eaux usées provenant d'usines de chlore équipées de cellules à membrane, en service au Canada.

4.4.1 Descriptions

4.4.1.1 USINE N° 1. - L'usine n° 1 produit de la soude et du chlore depuis 17 ans par le procédé utilisant des cellules à mercure. En 1978, cette usine s'est convertie au procédé utilisant une membrane échangeuse d'ions.

À l'usine n° 1, la saumure saturée est pompée à partir de puits jusque dans une cuve de réaction où l'addition de carbonate de sodium anhydre et d'hydroxyde de sodium donne un précipité de carbonate de calcium ($CaCO_3$) et d'hydroxyde de magnésium ($Mg(OH)_2$). La saumure est ensuite pompée dans un clarificateur, où les matières solides se déposent, sont retirées à intervalles réguliers du fond de la cuve, mélangées avec la saumure usée et renvoyées par pompage dans la cavité à sel. Une partie du trop-plein du clarificateur est filtrée et transférée dans un réservoir de retenue. Le reste est envoyé

dans la cavité à sel et est recyclé. Le liquide de lavage à contre-courant du filtre à saumure est également envoyé dans la cavité à sel.

Dans le procédé à membrane, il est très important de disposer de saumure très pure. Il faut donc, avant l'entrée dans la cellule, maintenir les concentrations des cations polyvalents, comme le calcium, le magnésium, le fer et l'aluminium, aussi faibles que possible dans l'anolyte. La saumure, après le traitement classique, passe donc encore sur des résines échangeuses d'ions pour éliminer ces cations polyvalents.

La saumure épuisée provenant des cellules passe dans un déchlorateur sous vide et une cuve de dégazage à l'air, avant d'être recyclée dans le réservoir d'anolyte. Le chlore gazeux provenant du déchlorateur rejoint le circuit principal du chlore et celui provenant de la cuve de dégazage passe dans l'épurateur des gaz de queue.

Une partie de la saumure du circuit de la saumure épuisée est dérivée vers un réservoir de stockage, où l'addition de sulfite de sodium permet d'éliminer tout chlore résiduel.

Le déioniseur de saumure doit être régénéré à intervalles réguliers. Les eaux usées résultantes, qui renferment du chlorure de sodium, de l'acide chlorhydrique et de l'hydroxyde de sodium, sont envoyées dans les puits à saumure.

Une partie de la solution de soude relativement pure du réservoir de catholyte, dont la concentration est d'environ 21 %, est concentrée à peu près à 41 % par passage dans les évaporateurs à effets multiples fonctionnant grâce à de la chaleur récupérée. Enfin, la solution caustique est encore concentrée jusqu'à 50 % par passage dans un dernier évaporateur. Le condensat provenant des évaporateurs est recyclé dans le réservoir de catholyte.

L'eau du condenseur barométrique, qui sert à produire la basse pression nécessaire au fonctionnement des évaporateurs à effets multiples, est recyclée dans la boucle du circuit d'eau de refroidissement.

Le chlore gazeux, chaud et humide, provenant du réservoir d'anolyte, passe à travers un refroidisseur indirect en titane, dans des tours de séchage à l'acide sulfurique, et enfin dans un désembueur. Le gaz est ensuite comprimé, liquéfié et stocké jusqu'à son utilisation ou sa vente. Le condensat provenant du refroidisseur du chlore est envoyé dans le réservoir d'anolyte. La solution de lavage provenant du désembueur et l'acide sulfurique usé sont stockés avant leur utilisation dans l'utilisation dans l'usine de pâte à papier.

Tous les gaz d'échappement provenant du système de compression et de liquéfaction, ainsi que le chlore dégagé par l'unité de soufflage d'air sont traités avec une

solution caustique et donnent de l'hypochlorite de sodium, lequel est envoyé dans l'usine de pâte à papier ou vendu.

L'hydrogène gazeux, chaud et humide, provenant du réservoir de catholyte passe par des refroidiseurs. Le condensat de ce circuit rejoint les autres eaux usées de la salle des cellules. L'hydrogène sert à la fabrication d'acide chlorhydrique ou est envoyé dans une usine de produits chimiques voisine.

Toutes les eaux usées de la salle des cellules - fuites, déversements accidentels, eaux usées de l'entretien général, etc. - sont recueillies et envoyées dans la cavité à sel.

L'eau de purge de la tour de refroidissement passe dans des refroidisseurs indirects à l'acide sulfurique, avant d'être rejetée dans la rivière. À cette eau viennent s'ajouter les eaux usées d'autres sources: celle de purge de la chaudière, l'eau de lavage à contre-courant de l'adoucisseur d'eau de la chaudière, l'eau de lavage à contre-courant de l'adoucisseur d'eau du procédé, enfin l'eau d'entretien et l'eau courante.

L'eau de ruissellement est recueillie dans un bassin où les matières solides se déposent. Si la teneur en mercure est trop élevée, l'effluent peut être traité et le mercure transformé en HgS. Si nécessaire, une partie est déviée dans la rivière.

L'effluent domestique va dans une fosse septique. Le trop-plein de celle-ci rejoint l'effluent final.

Un équipement de surveillance et d'échantillonnage permet de prélever des échantillons quotidiens mixtes de toutes les eaux usées déversées. Le tableau 26 présente les données obtenues.

4.4.1.2 USINE N° 2. - À l'usine n° 2, la saumure déchlorée, de pH 9,0 environ, est pompée dans l'un des deux saturateurs disposés en parallèle. Du sel gemme à 98,7 % pur est dissous dans la saumure ascendante. La saumure saturée est filtrée pour enlever les matières solides et les débris, puis passe dans une cuve de réaction, où l'addition de carbonate de baryum et de carbonate de sodium permet d'éliminer le fer, les sulfates, le calcium, le magnésium et d'autres impuretés mineures. Le trop-plein de ce réservoir passe dans une seconde cuve de réaction, où l'élimination des impuretés se poursuit. La saumure provenant de la seconde cuve de réaction passe à travers deux filtres et un échangeur de chaleur, puis est stockée dans une cuve où les matières solides peuvent encore se déposer. La saumure provenant de ce dernier réservoir est filtrée encore une fois, puis pompée dans un distributeur de tête, d'où elle peut s'écouler dans les cellules. La saumure épuisée provenant des cellules s'écoule dans la cuve de réception prévue à cette fin, où l'addition

TABLEAU 26 TENEURS ET CHARGES EN POLLUANTS DE L'EFFLUENT DE L'USINE Nº 1 DE CHLORE ÉQUIPÉE DE CELLULES À MEMBRANE

	Trop plein d'eaux pluviales			Effluent final			
Paramètre	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/an)	Nbre de valeurs	Teneur moy. (mg/l)	Extrêmes (mg/l)	Charge (kg/tonne)
Débit	896	m^3/an			455	m^3/g	
pH	5,9	1,3-8,7		210	9,4	2,2-11,7	
Conductivité (micromhos/cm)	57 600	11 000-100 000		210	2 630	800-24 000	
Chlorures	13 550	3 000-24 900	12 140	210	475	75-3 780	3,00
Sodium	13 500	3 200-23 400	12 100	210	488	60-3 120	3,08
Alcalinité	2 000			210	200		
Mercure	0,110	0,012-0,307	0,099	210	0,008	0,001-0,029	0,000 05
Chrome	0,317		0,284	210	0,120	0,010-0,580	0,000 76
Chlore résiduel	8	0-18	7,17	210	2,6	0-46	0,016

de HCl va commencer à enlever le chlore gazeux. Cette saumure épuisée est ensuite pompée dans un dégazeur sous vide, où l'élimination du chlore se poursuit (le chlore gazeux, séparé dans le dégazeur sous vide et dans le réservoir de stockage, rejoint le circuit principal du chlore provenant des cellules). La saumure épuisée s'écoule ensuite dans un réservoir de dégazage à air. L'air est soufflé par le bas et passe à travers la saumure, et entraîne les restes de chlore. Ce gaz à faible teneur sert à la fabrication de l'hypochlorite de sodium. La saumure déchlorée retourne dans les saturateurs.

À intervalles réguliers, des matières solides provenant des saturateurs, des cuves de réaction, des réservoirs de stockage et du lavage à contre-courant du filtre à saumure sont transférées dans une cuve de retenue des boues. Ces matières sont ensuite pompées dans un grand clarificateur utilisé pour traiter les effluents. Les matières provenant du sous-écoulement du clarificateur sont filtrées sous vide et envoyées dans une décharge. Le filtrat est recyclé dans le clarificateur, en attendant d'être transféré plus tard dans un grand bassin de stabilisation aéré.

Le chlore se forme aux anodes à dimensions stables et est retiré en passant par le réservoir d'anolyte. Le chlore humide et chaud passe dans un refroidisseur indirect. L'eau condensée est recyclée dans le circuit de la saumure; le chlore est ensuite séché dans des tours à acide sulfurique, puis comprimé et liquéfié. La présence de faibles quantités d'air et de gaz inertes donne un gaz résiduel renfermant un peu de chlore après liquéfaction. Ce gaz de queue sert à fabriquer de l'hypochlorite de sodium pour l'usine de pâte à papier ou de l'acide chlorhydrique pour l'usine de chlore.

Dans les tours de séchage, une solution de H_2SO_4 à 98 % s'écoulant à contre-courant sert à séparer la vapeur d'eau du chlore. L'acide usé de la première tour, renfermant environ 70 % de H_2SO_4, est déversé dans l'égout, mais il est prévu que cet acide sera utilisé par l'usine de pâte à papier.

La soude pure, provenant des cellules à une concentration d'environ 10 %, est envoyée dans un réservoir de stockage. La soude, nécessaire à l'usine de pâte à papier, est pompée dans des réservoirs de stockage de l'usine. La soude restante est concentrée à 50 % dans des évaporateurs à effets multiples, et stockée pour vente ultérieure. Le condensat provenant des évaporateurs est transféré dans le bâtiment de la chaudière. L'eau du condenseur barométrique, servant à créer le vide pour le fonctionnement des évaporateurs à effets multiples, est évacuée dans l'égout.

L'hydrogène, généré à la cathode, est retiré du procédé au niveau du réservoir de catholyte et refroidi dans un système de refroidissement indirect. Une partie de l'hydrogène gazeux est ensuite comprimé en vue de son utilisation pour la fabrication

d'acide chlorhydrique. Le reste de l'hydrogène gazeux est relâché dans l'atmosphère. Le condensat produit lors du refroidissement de l'hydrogène chaud et humide, est recyclé dans l'usine si c'est possible, ou évacué dans l'égout.

L'eau de refroidissement utilisée dans l'unité de refroidissement, dans l'échangeur de chaleur de l'unité de fabrication de l'hypochlorite, etc. est recyclée dans la station de filtration d'eau.

L'effluent domestique est déversé dans le réseau municipal, ou transféré dans le clarificateur de l'usine de pâtes et papiers.

Le liquide de lavage à contre-courant de l'adoucisseur par échange ionique est déversé dans l'égout. Cette eau usée se combine aux eaux usées provenant du ruissellement, ainsi que de la salle des cellules et de la section de traitement de la saumure et enfin de la section de l'entretien et des services. Le débit et certains paramètres de ces eaux usées combinées sont surveillés et contrôlés régulièrement avant qu'elles entrent dans le clarificateur.

4.4.1.3 USINE N° 3. - L'usine n° 3 utilise des anodes métalliques et une membrane d'acide perfluorocarboxylique. La cellule est en titane et en acier (comme la cellule Asahi de l'usine n° 1). Ainsi, les risques de formation de composés organiques chlorés sont faibles. Tout métal présent dans le sel ou provenant de la corrosion de l'équipement est éliminé par des résines échangeuses d'ions, évacué dans l'effluent avec le régénérant du déioniseur de saumure et déversé dans un étang de retenue.

À cette usine, du sel pur à plus de 99 %, obtenu par évaporation, sert à préparer la saumure. Mais, comme le procédé de la membrane nécessite de la saumure exempte de cations polyvalents comme ceux de calcium, d'aluminium, de magnésium et de fer (pour empêcher le colmatage de la membrane), le sel dissous est d'abord traité avec du carbonate de sodium anhydre et de la soude pour former un précipité de carbonate de calcium et d'hydroxyde de magnésium. Après la filtration, un traitement supplémentaire avec une résine échangeuse d'ions, permet d'enlever les cations polyvalents résiduels.

Les boues de saumure et le liquide de lavage à contre-courant du filtre, qui sont rejetés à l'égout, renferment d'après les estimations 500 kg de NaCl, 5 kg de $Mg(OH)_2$, 65 kg de $CaCO_3$ et 30 kg d'alpha-cellulose, un adjuvant de filtration, par jour.

Les produits de régénération du déioniseur de saumure sont également déversés dans l'égout. Ces eaux usées renferment environ 3000 kg de NaCl, 350 kg de HCl et 360 kg de NaOH par jour.

La soude produite par ce procédé serait d'une grande pureté; cependant, pendant les arrêts, la surface de la cathode subit une légère corrosion, d'où la présence

d'un peu de fer dans la soude finale. Le fer et d'autres impuretés sont séparés par filtration. L'eau de lavage à contre-courant de ce filtre est évacuée dans l'égout.

Le chlore provenant du déchlorateur et les gaz de queue sont traités à la soude pour donner de l'hypochlorite de sodium. Celui-ci est normalement envoyé à l'usine de chlorate. Parfois, l'hypochlorite doit être déversé dans l'égout.

Les produits de régénération du déminéraliseur d'eau sont également déversés dans l'égout. On estime à 35 kg de HCl et 35 kg de NaOH par jour les résidus déversés avec ces eaux usées.

Le condensat du refroidisseur de chlore est recyclé dans le circuit de la saumure.

Les condensats du refroidisseur d'hydrogène sont évacués dans l'égout.

Toute l'eau de refroidissement utilisée à l'usine est recyclée dans l'usine de pâte à papier.

L'eau de ruissellement du terrain de l'usine s'écoule dans les égouts.

4.5 Polluants prioritaires et tests biologiques

Comme il a été dit précédemment, aucune des usines équipées de cellules à membrane n'a fait l'objet d'un contrôle portant sur les métaux prioritaires ou les polluants organiques, ni de tests biologiques.

Mais, du point de vue environnemental, ce type de cellule représente une amélioration par rapport à la cellule à mercure ou à la cellule à anodes en graphite-amiante, ou encore en amiante avec dimensions stables. Le mercure (provenant de la cellule à mercure), les particules d'amiante ou de graphite, ainsi que le Na_2SO_4 et le NaCl produits lors de l'évaporation (dans le cas des cellules de graphite-amiante ou d'amiante-ADS) sont tous éliminés.

De plus, comme les cellules à membrane utilisent des ADS, la quantité d'hydrocarbures chlorés est sensiblement réduite, sinon nulle.

4.6 Options de décontamination et méthodes de traitement

4.6.1 Polluants classiques. - Comme on l'a déjà mentionné pour les usines équipées de cellule à mercure ou à diaphragme, la réduction de la quantité totale de résidus est fonction des moyens de surveillance et de contrôle du procédé, des mesures d'isolation, du traitement ainsi que des taux de recyclage ou de réutilisation, ou encore des deux.

Étant donné que les trois usines sont associées à des usines de pâtes et papiers, beaucoup des mesures antipollution s'ajoutent aux systèmes de traitement des usines de pâtes et papiers. Les paragraphes qui suivent décrivent les moyens antipollution mis en oeuvre.

4.6.1.1 MATIÈRES SOLIDES DU TRAITEMENT DE LA SAUMURE. - La principale matière première pour le procédé utilisant la cellule à membrane est une solution de chlorure de sodium presque saturée. Le degré de pureté du sel brut détermine la quantité de constituants inertes ou inutilisables qui devront être évacués sous forme de résidus. L'une des usines a tenu compte de ce facteur en utilisant du sel d'évaporation pour préparer la solution. Une autre usine a adopté l'extraction minière par dissolution, et elle renvoie dans la cavité à sel toutes les matières solides provenant de la purification de la saumure ainsi que de la solution de lavage à contre-courant du filtre. Les deux usines qui emploient du sel d'évaporation ou du sel gemme filtrent les matières solides provenant de la saumure et transfèrent ces matières inertes dans le système de traitement de l'usine de pâtes et papiers, où les matières se déposent au fond d'un bassin, ou encore sont déversées, après filtration, dans une décharge. La saumure épuisée provenant des cellules de chlore est recyclée dans le saturateur ou dans la cavité à sel pour enrichissement. Leurs pertes de sel sont minimisées par filtration des matières solides provenant de la saumure.

4.6.1.2 EAUX USÉES DE LA SALLE DES CELLULES. - Les résidus de la salle des cellules, qui comprennent les fuites, les déversements accidentels, l'eau de lavage de la salle et des cellules, etc., ne renferment ni amiante, ni plomb; en effet, les cellules à membrane sont constituées de diaphragmes échangeurs d'ions et d'anodes à dimensions stables.

4.6.1.3 ACIDE SULFURIQUE USÉ. - Dans deux des usines, l'acide sulfurique usé est utilisé dans les usines de pâtes. La troisième usine prévoit la même application pour son acide usé.

4.6.1.4 SOLUTION DU LAVEUR DES GAZ DE QUEUE. - L'hypochlorite de sodium produit aux trois usines est utilisé soit dans les usines de pâtes et papiers, soit dans les usines de chlorate.

4.6.1.5 SOUDE. - La soude produite par les cellules à membrane est très pure, ne requiert aucune filtration et peut être utilisée telle quelle par les usines de pâte à papier voisines. La soude, concentrée à 50 % à l'une des usines équipées de cellules à membrane, ne nécessite aucune purge pour l'élimination des sulfates; il n'y a pas d'eaux usées provenant du lavage à contre-courant du filtre, ou de la séparation du sel, comme c'est souvent le cas dans les usines à cellules à diaphragme.

4.6.1.6 ANODES ADS. - Comme dans le cas des autres cellules, l'emploi d'anodes à dimensions stables fait qu'il n'y a pas d'hydrocarbures chlorés dans le circuit du chlore.

4.6.1.7 RÉGÉNÉRATION DU DÉIONISEUR DE SAUMURE. - Lorsque les lits de résine qui servent à éliminer les cations dans la saumure traitée par les moyens classiques sont régénérés, l'effluent - renfermant de l'hydroxyde de sodium, de l'acide chlorhydrique, du chlorure de sodium et de faibles teneurs en cations, comme ceux de fer, d'aluminium, de calcium, etc. - est évacué dans l'effluent principal à l'une des usines et dans une cavité à sel dans une autre.

4.6.1.8 EFFLUENT DU DÉMINÉRALISEUR D'EAU. - La régénération du déminéraliseur produit un effluent qui renferme de fortes teneurs en chlorure de sodium, de calcium et de magnésium, ainsi que de petites quantités de sulfate de sodium et de sels de fer d'aluminium et de manganèse. Ces eaux usées sont déversées dans une cavité à sel dans l'une des usines, et dans l'effluent dans les deux autres.

4.6.1.9 CONDENSAT DU REFROIDISSEUR D'HYDROGÈNE. - Cet effluent, qui est pratiquement exempt de tout contaminant, est recyclé dans le procédé ou évacué dans l'égout.

4.6.1.10 CONDENSAT DU REFROIDISSEUR DU CHLORE. - Les condensats sont recyclés dans toutes les usines.

4.6.1.11 EAUX USÉES DU CONDENSEUR BAROMÉTRIQUE. - Seules deux usines utilisent des condenseurs barométriques. À l'une d'elles, l'eau du condenseur est recyclée dans une tour de refroidissement. À l'autre, seule une petite quantité de solution caustique est évaporée. Les eaux usées, qui renferment une faible quantité de soude entraînée, sont déversées dans l'égout.

4.6.2 **Polluants prioritaires.** - Aucune mesure de surveillance des polluants toxiques n'a été prise dans les usines équipées de cellules à membrane. Étant donné qu'elles utilisent des anodes à dimensions stables et des électrolyseurs en titane-acier, les teneurs en polluants métalliques devraient être très faibles dans les eaux usées.

Comme avec les autres cellules à ADS, il n'y a pas formation de composés organiques chlorés lors de la purification du chlore.

4.6.3 **Choix de la méthode appropriée.** - Aucune modification dans la méthode de traitement n'est proposée pour les trois usines équipées de cellules à membrane. Étant donné que les trois usines sont associées à des usines de pâtes et papiers, la plupart des circuits de polluants sont réutilisés dans les usines de pâtes et papiers (c'est-à-dire l'acide usé et l'effluent du laveur des gaz de queue), ou envoyés dans les systèmes de traitement de l'effluent de ces même usines de pâtes et papiers. L'usine isolée, qui n'est pas associée

à une unité produisant des pâtes à papier, envoie la plupart de ses effluents de procédé dans la cavité à sel, d'où ils sont recyclés. Toutes les eaux de surface sont étroitement surveillées et traitées pour éliminer le mercure; en effet, jusqu'en 1979, cette usine produisait du chlore et de la soude par le procédé de la cellule à mercure.

RÉFÉRENCES

1. *Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Inorganic Chemicals Manufacturing, Point Source Category*, EPA 440/1-79/007.

2. *Guidelines Establishing Test Procedures for the Analysis of Pollutants. Proposed Regulations.* U.S. Federal Register, 3 décembre 1979.

3. *Règlement sur le mercure provenant des fabriques de chlore et de soude caustique*, Ottawa, 1977, EPS 1-WP-77-3 (bil.).

4. *Ambient Water Quality Criteria Reports.* (U.S.) Environmental Protection Agency, Washington, D.C.

5. *Biological Testing of Industrial and Municipal Effluents for Genotoxic Activity.* Prepared by the Carcinogen Testing Laboratory, B.C. Cancer Research Centre, Vancouver, B.C.

6. Glatz, B.A., "Short-Term Bioassays for Environmental Mutagens and Carcinogens", *Journal AWWA*, juillet 1979, pp. 396-401.

7. Kraybill, H.F., "Evaluation of Public Health Aspects of Carcinogenic/Mutagenic Biorefractories in Drinking Water", *Preventive Medicine*, 9, p. 212, 1980.

8. Symons, J.M., *et al.*, "National Organics Reconnaissance Survey for Halogenated Organics", *Journal AWWA*, novembre 1975, p. 634.

9. Kraybill, H.F., "Carcinogenesis of Synthetic Organic Chemicals in Drinking Water", *Journal AWWA*, juillet 1981.

10. Glatz B.A., *et al.*, "Examination of Drinking Water for Mutagenic Activity", *Journal AWWA*, août 1978, p. 465.

11. Loper, J.A. et D.R. Lang, "Mutagenic, Carcinogenic and Toxic Effects of Residual Organics in Drinking Water", Symp. on Application of Short-Term Bioassays in the Fractionation and Analysis of Complex Environ. Mixtures, US EPA, Williamsburg, Va, février 1978.

12. Hoffmann, G.R., "Mutagenicity Testing in Environmental Toxicology", *Environ. Sci. Technol.*, vol. 16, nº 10, 1982, p. 560 A.

13. *Potentially Toxic and Hazardous Substances in the Industrial Organic Chemicals and Organic Dyes and Pigment Industries*, EPA Report No. 80-180482.

14. *Aquatic Pollutants: Transformation and Biological Effects*, Pergamon Press.

15. *Potential Industrial Carcinogens and Mutagens*, Lawrence Fishbein, Elsevier.

GLOSSAIRE

Aberrations (chromosomiques)	Irrégularités au niveau des chromosomes, qui entraînent des dédoublements, des délétions, des échanges ou d'autres altérations de la substance génétique.
Activation du métabolisme	Processus selon lequel un produit inactif devient actif (dans le cas de tests à court terme, cela suppose la conversion d'un agent procancérigène en agent cancérigène, ou d'un agent promutagène en agent mutagène).
ADN (acide désoxyribonucléique)	Grande molécule qui renferme l'information génétique déterminant la croissance et le fonctionnement des cellules.
Ames, test d'	Test à court terme bien connu, qui mesure le pouvoir qu'a un produit chimique d'induire des mutations chez une souche spéciale de la bactérie *Salmonella typhimurium*.
Antagonisme	Interaction de deux ou plusieurs substances, qui modifie l'action de l'une quelconque de ces substances sur les cellules vivantes ou les tissus.
Bactérie	Organisme unicellulaire sans chlorophylle, qui se multiplie par division cellulaire.
Biodégradable	Qui peut se décomposer rapidement dans les conditions que l'on trouve normalement dans l'environnement.
Cancérigène (ou carcinogène)	Agent pouvant induire le cancer dans un tissu qui y est exposé.
Chromosome	Élément de la cellule formé par l'ADN chez les organismes et les cellules supérieurs.
Cocancérigène, agent	Agent, qui n'est pas cancérigène lui-même, mais qui favorise l'action d'un agent cancérigène lorsqu'un mélange des deux agents est administré.
Concentration naturelle (ou normale)	Concentration d'une substance que l'on rencontre normalement ou naturellement dans un environnement ou un milieu donné.
Cumulatif, agent (ou bio-cumulatif)	Agent toxique qui a tendance à s'accumuler, particulièrement dans un organe chez un être vivant.
Déphasage (ou mutation ponctuelle)	Une ou plusieurs paires de bases sont ajoutées ou supprimées dans la structure de l'ADN.

ADN	CCA	GGG	CCC	AAA	GTG	AAA		Déphasage	CCA	GGC	CCA	AAG	TGA	AA
	GGT	CCC	GGG	TTT	CAC	TTT			GGT	CCG	GGT	TTC	ACT	TT

Délétion d'une paire de bases

CCG GGT TTC - représentent des acides aminés non conformes

ACT - indique qu'il ne s'agit pas d'acides aminés

"Une mutation ponctuelle (déphasage) modifie toute l'information génétique après le point dans l'ADN où une paire de bases est ajoutée ou supprimée. Ce type de mutation donne donc des structures génétiques complètement altérées et non fonctionnelles."(12)

DL 50	Dose létale pour 50 % des individus d'une population; dose calculée d'une substance chimique qui, d'après les estimations, entraîne la mort de 50 % des individus d'une population animale expérimentale, après exposition à cette substance par n'importe quelle voie, sauf l'inhalation (l'indice 50 est parfois omis).
DL min. (ou DL inf.)	Dose minimale d'une substance qui provoque la mort chez l'homme ou chez l'animal exposé, quelle que soit la durée de l'exposition et la voie d'absorption, excepté l'inhalation (l'indice min. ou inf. est parfois omis).
Effet toxique aigu	Réaction à une exposition de courte durée, avec effets immédiats de courte durée également, et faible réaction des tissus.
Effet toxique chronique	Réaction à une exposition, qui produit des effets durables, caractérisés par des lésions tissulaires souvent irréversibles, et qui peuvent aller en s'aggravant.
Enzyme	Protéine qui agit comme catalyseur en facilitant une réaction chimique spécifique à l'intérieur de la cellule.
Épidémiologie	Science qui consiste à établir une corrélation entre l'exposition à une substance et l'apparition d'une maladie ou d'un autre effet chez un groupe humain.
Exposition chronique	Exposition prolongée ou répétée pendant une longue période.
Facteur de risque, évaluation du	Méthode d'évaluation permettant de déterminer si une substance est dangereuse pour l'homme.
Faux négatif	Résultat d'un essai qui indique qu'un produit chimique est inoffensif, alors qu'en réalité il est dangereux.

Faux positif	Résultat d'un essai qui indique qu'un produit chimique est dangereux, alors qu'en réalité il est inoffensif.
Fractionnement	Séparation chimique d'un mélange complexe en une série de mélanges plus simples (fractions).
Gènes	Unités chromosomiques qui déterminent et transmettent les caractères héréditaires.
Génotoxines	Substances chimiques qui affectent les gènes. Ce terme désigne généralement les agents oncogènes, tératogènes ou mutagènes.
In vitro	Qualifie un processus qui intervient dans un milieu artificiel (équipement de laboratoire), sans utilisation d'animaux vivants. Littéralement, ce terme signifie "dans la verrerie".
In vivo	Qualifie une réaction ou un essai biologique qui a lieu à l'intérieur de l'organisme d'un animal vivant.
Meilleure technique applicable (MTA)	Ensemble des moyens industriels mis en oeuvre et qui donnent les meilleurs résultats à un coût raisonnable.
Métabolisme	Processus physiques et chimiques qui interviennent dans un organisme pour transformer les produits chimiques en formes plus simples ou plus complexes.
Mutagène	Qui provoque une modification permanente des caractères héréditaires, ce qui suppose une modification physique des relations chromosomiques, un changement fondamental dans la disposition des gènes, ou une altération au niveau de l'ADN.
S-9 (homogénats hépatiques)	Pour les essais généraux de mutagénèse, on se sert d'homogénats hépatiques de rats, qui sont exposés à un mélange (Aroclor 1254) de biphényles polychlorés (BPC). D'autres tissus ont également été employés, mais le foie de rat permet d'obtenir très facilement l'activation des enzymes. Il est indispensable pour la détection d'une grande variété d'agents cancérigènes nécessitant une activation du métabolisme. Le foie provenant de rats exposés à l'Aroclor constitue le milieu le plus efficace pour détecter différentes classes d'agents cancérigènes.
Substitution d'une paire de bases	Mutation génétique où une paire de bases de l'ADN (par ex. la paire adénine-thymine) est remplacée par une autre (par ex. la paire guamine-cytosine).

ADN CCA GGG CCC AAA GTG AAA GGT CCC GGG TTT CAC TTT	Substitution d'une paire de bases	CCA GAG CCC AAA GTF AAA GGT CTC GGG TTT CAC TTT

CTC - représente un acide aminé non conforme

"La série modifiée de bases qui résulte d'une substitution d'une paire de bases amène souvent un changement dans la succession des acides aminés chez la protéine, déterminée par le code génétique. Cette protéine altérée peut fonctionner différemment de la protéine initiale, ce qui entraîne des différences au niveau des caractéristiques de l'organisme."

Synergisme	Propriété d'une substance qui a un effet nettement différent ou plus grand que son effet normal, lorsqu'elle est en présence d'une autre substance.
Teneur estimative tolérable (TET)	Valeur estimative de la teneur d'un milieu en une substance à laquelle l'homme serait exposé en permanence et qui ne provoquerait d'effets toxiques ni chez lui, ni sur l'environnement.
Tératogène	Un composé tératogène provoque des modifications structurelles et(ou) fonctionnelles chez un embryon pendant son développement, ce qui entraîne des malformations congénitales à la naissance.
Test biologique	Test permettant de déterminer l'effet d'un produit chimique sur un organisme vivant.
TL 50	Teneur en une substance de l'air ou de l'eau (valeurs différentes) calculée, qui provoque la mort de 50 % d'une population animale expérimentale dans des conditions et pendant un temps d'exposition déterminés, le plus souvent 96 heures pour les espèces aquatiques (le nombre 50 peut être placé en indice ou omis complètement).
Toxicité	Pouvoir d'une molécule ou d'un composé chimique de provoquer des lésions en un point sensible de l'organisme.
Toxicologie	Étude des effets, détection et traitement des poisons et des empoisonnements.

ANNEXE A

LISTE DES POLLUANTS TOXIQUES

Nom des composés et des éléments *

1. Acénaphtène
2. Acroléine
3. Acrylonitrile
4. Benzène
5. Benzidine
6. Tétrachlorure de carbone (tétrachlorométhane)
7. Chlorobenzène
8. Trichloro-1,2,4 benzène
9. Hexachlorobenzène
10. Dichloro-1,2 éthane
11. Trichloro-1,1,1 éthane
12. Hexachloroéthane
13. Dichloro-1,1 éthane
14. Trichloro-1,1,2 éthane
15. Tétrachloro-1,1,2,2 éthane
16. Chloroéthane
17. Oxyde de bis (chlorométhyl)
18. Oxyde de bis (chloro-2 éthyl)
19. Oxyde de chloro-2 éthyle et de vinyle (mixte)
20. Chloro-2 naphtalène
21. Trichloro-2,4,6 phénol
22. Parachlorométacrésol
23. Chloroforme (trichlorométhane)
24. Chloro-2 phénol
25. Dichloro-1,2 benzène
26. Dichloro-1,3 benzène
27. Dichloro-1,4 benzène
28. Dichloro-3,3' benzidine

---

* Données extraites du rapport *Development Document for Effluent Limitations Guidelines and Standards for the Inorganic Chemical Manufacturing*, Catégorie source ponctuelle, EPA 440/1-79/007.

29. Dichloro-1,1 éthylène
30. Dichloro-1,2 éthylène (trans)
31. Dichloro-2,4 phénol
32. Dichloro-1,2 propane
33. Dichloro-1,2 propylène (dichloro-1,3 propène)
34. Diméthyl-2,4 phénol
35. Dinitro-2,4 toluène
36. Dinitro-2,6 toluène
37. Diphényl-1,2 hydrazine
38. Éthylbenzène
39. Fluoranthène
40. Oxyde de chloro-4 phényle et de phényle
41. Oxyde de bromo-4 phényle et de phényle
42. Oxyde de bis (chloro-2 isopropyle)
43. Bis (chloro-2 éthoxy)-méthane
44. Chlorure de méthylène (dichlorométhane)
45. Chlorure de méthyle (chlorométhane)
46. Bromure de méthyle (bromométhane)
47. Bromoforme (tribromométhane)
48. Dichlorobromométhane
49. Trichlorofluorométhane
50. Dichlorodifluorométhane
51. Chlorodibromométhane
52. Hexachlorobutadiène
53. Hexachlorocyclopentadiène
54. Isophorone
55. Naphtalène
56. Nitrobenzène
57. Nitro-2 phénol
58. Nitro-4 phénol
59. Dinitro-2,4 phénol
60. Dinitro-4,6-o-crésol
61. N-nitrosodiméthylamine
62. N-nitrosodiphénylamine

63. N-nitrosodi-*n*-propylamine
64. Pentachlorophénol
65. Phénol
66. Phtalate de bis (éthyl-2 hexyle)
67. Phtalate de butyle et de benzyle
68. Phtalate de di-*n*-butyle
69. Phtalate de di-*n*-octyle
70. Phtalate de diéthyle
71. Phtalate de diméthyle
72. Benzo(*a*)anthracène (benzanthracène-1,2)
73. Benzo(*a*)pyrène (benzo-3,4 pyrène)
74. Benzo-3,4 fluoranthène
75. Benzo(*k*)fluoranthane (benzo-11,12 fluoranthène)
76. Chrysène
77. Acénaphtylène
78. Anthracène
79. Benzo(*ghi*)pérylène (benzo-1,12 pérylène)
80. Fluorène
81. Phénanthrène
82. Dibenzo(*a,h*)anthracène (dibenzo-1,2,5,6 anthracène)
83. Indéno(1,2,3-*cd*)pyrène (*o*-phénylène-2,3 pyrène)
84. Pyrène
85. Tétrachloroéthylène
86. Toluène
87. Trichloroéthylène
88. Chlorure de vinyle (chloréthylène)
89. Aldrine
90. Dieldrine
91. Chlordane (mélange technique et métabolites)
92. DDT-4,4'
93. DDE-4,4' (p,p'-DDX)
94. DDD-4,4' (p,p'-TDE)
95. A-endosulfan-Alpha
96. B-endosulfan-Béta

97. Sulfate d'endosulfan
98. Endrin
99. Endrin aldéhyde
100. Heptachlore
101. Heptachlore époxyde
102. A-BHC-Alpha
103. B-BHC-Béta
104. R-BHC (lindane)-Gamma
105. G-BHC-Delta
106. PCB-1242 (Aroclor 1242)
107. PCB-1254 (Aroclor 1254)
108. PCB-1221 (Aroclor 1221)
109. PCB 1232 (Aroclor 1232)
110. PCB-1248 (Aroclor 1248)
111. PCB-1260 (Aroclor 1260)
112. PCB-1016 (Aroclor 1016)
113. Toxaphène
114. Antimoine (total)
115. Arsenic (total)
116. Amiante (fibres)
117. Béryllium (total)
118. Cadmium (total)
119. Chrome (total)
120. Cuivre (total)
121. Cyanure (total)
122. Plomb (total)
123. Mercure (total)
124. Nickel (total)
125. Sélénium (total)
126. Argent (total)
127. Thallim (total
128. Zinc (total)
129. Tétrachloro-2,3,7,8 dibenzo-p-dioxine (TCDD)

ANNEXE B

RÉSULTATS DE TESTS BIOLOGIQUES POUR DÉTERMINER L'ACTIVITÉ GÉNOTOXIQUE DES EFFLUENTS FINALS DES USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE

TABLEAU B1 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'ÉCHANTILLON Nº 1 D'EFFLUENT BRUT D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'effluent brut	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:2	0,5	6	9	84	78	12	14	7	10	39	38
1:4	0,25	9	9	79	78	13	12	11	8	44	37
1:8	0,12	8	8	75	75	13	13	10	12	40	34
1:16	0,06	8	12	92	85	15	13	10	13	41	35
1:32	0,03	13	9	73	66	12	15	9	11	42	39
Témoin négatif	SSTP***	8	7	80	69	10	12	10	13	34	29
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1380	-	1513	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	1476	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	1733	-	1526	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	118	338	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.
*** SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU B2 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'ÉCHANTILLON Nº 2 D'EFFLUENT BRUT D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'effluent brut	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:2	0,5	25	21	138	154	11	6	4	10	38	27
1:4	0,25	18	17	145	132	6	6	4	11	38	30
1:8	0,12	16	19	137	146	6	8	6	7	40	26
1:16	0,06	18	18	137	144	9	8	4	9	31	33
1:32	0,03	18	17	140	130	7	6	3	9	42	27
Témoin négatif	SSTP***	16	18	136	125	9	6	5	8	35	27
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1398	-	1680	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	1123	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	1145	-	1393	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	184	904	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.
*** SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU B3 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'ÉCHANTILLON Nº 3 D'EFFLUENT BRUT D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'effluent brut	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:2	0,5	5	9	115	111	13	6	6	10	25	27
1:4	0,25	9	9	102	119	9	6	6	6	27	26
1:8	0,12	7	10	114	120	12	6	6	8	27	25
1:16	0,06	11	10	110	113	10	6	6	6	32	26
1:32	0,03	8	9	104	120	8	9	6	6	24	29
Témoin négatif	SSTP***	8	9	117	106	7	9	7	5	27	22
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	964	-	1064	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	678	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	618	-	698	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	135	713	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.
*** SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU B4 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'EXTRAIT N° 1 D'EFFLUENT FINAL D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'extrait**	Volume (ml)*** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:25	10	12	18	411	458	19	35	14	28	32	63
1:40	6,2	15	21	302	387	18	36	15	31	38	67
1:80	3,1	16	23	191	330	14	38	17	31	31	57
1:160	1,6	12	21	171	191	11	36	21	26	25	56
1:320	0,8	17	25	115	164	17	38	19	26	37	60
1:640	0,4	16	24	103	133	19	44	15	25	35	54
1:1280	0,2	14	28	106	129	11	41	20	31	25	54
Témoin de solvant	DMSO**	12	23	99	118	19	38	17	30	34	55
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1038	-	1058	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	1294	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	1097	-	852	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	88	363	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** La teneur finale du solvant dans la boîte est de 4 % DMSO.
***SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU B5 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'EXTRAIT Nº 2 D'EFFLUENT FINAL D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'extrait**	Volume (ml)*** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:25	10	22	17	223	255	12	0	12	13	49	42
1:40	6,2	14	20	250	276	12	4	14	20	47	52
1:80	3,1	15	0	140	254	14	0	15	19	38	46
1:160	1,6	16	9	167	175	10	7	19	21	42	48
1:320	0,8	13	8	144	157	10	12	19	23	40	50
1:640	0,4	16	5	113	150	13	10	16	31	42	48
1:1280	0,2	12	9	113	136	11	19	11	26	38	54
Témoin de solvant	DMSO**	14	14	124	132	13	21	18	23	40	53
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1232	-	1491	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	1718	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	1301	-	854	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	136	985	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** La teneur finale du solvant dans la boîte est de 4 % DMSO.
***SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU B6 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'EXTRAIT Nº 3 D'EFFLUENT FINAL D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À MERCURE

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'extrait**	Volume (ml)*** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:25	10	13	16	170	97	T	10	T	19	21	41
1:40	6,2	15	15	161	137	8	17	T	20	49	49
1:80	3,1	18	16	145	140	11	15	11	18	38	43
1:160	1,6	16	20	143	92	9	17	8	22	34	36
1:320	0,8	15	11	142	121	8	15	10	23	32	35
1:640	0,4	14	14	136	119	9	16	11	22	30	38
1:1280	0,2	16	15	126	140	7	14	8	29	23	37
Témoin de solvant	DMSO**	16	16	137	127	6	18	10	26	23	41
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1347	-	1345	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	1116	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	833	-	769	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	136	946	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** La teneur finale du solvant dans la boîte est de 4 % DMSO.
***SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU B7 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC UN BLANC D'EXTRAIT

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'extrait**	Volume (ml)*** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:25	10	15	16	125	91	13	10	15	24	46	40
1:40	6,2	14	14	127	104	13	17	14	16	44	49
1:80	3,1	15	10	111	107	14	22	15	22	31	48
1:160	1,6	16	17	124	70	11	19	11	24	29	40
1:320	0,8	18	17	130	110	12	19	9	21	29	42
1:640	0,4	17	12	109	109	16	17	9	18	24	34
1:1280	0,2	13	15	121	123	18	15	13	20	27	35
Témoin de solvant	DMSO**	16	14	127	121	13	15	14	22	33	41
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1257	-	1283	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	1032	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	684	-	769	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	123	828	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** La teneur finale du solvant dans la boîte est de 4 % DMSO.
***SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU B8 ABERRATIONS CHROMOSOMIQUES CHEZ LES CELLULES DE HAMSTER À QUEUE DE RAT, APRÈS EXPOSITION À DES EXTRAITS D'EFFLUENTS* FINALS D'USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULE À MERCURE

			Pourcentage de boîtes métaphasiques avec aberrations** chromosomiques					
Extrait nº			Nº 1		Nº 2		Nº 3	
Activation métabolique			-S-9	+S-9	-S-9	+S-9	-S-9	+S-9
Dilution finale de l'extrait	Teneur DMSO de l'extrait dilué (%)	Volume (ml) équivalent d'effluent initial						
1:10	10	25	3,0	10,0	2,0	7,0	IM***	2,0
1:20	5	12,5	2,0	2,0	2,0	0,0	29,1***	0,0
1:40	2,5	6,2	1,0	0,0	0,0	N.A.	2,0	-
1:80	1,2	3,1	0,0	-	-	-	0,0	-
1:160	1,2	1,6	-	-	-	-	N.A.	-
1:320	1,2	0,8	-	-	-	-	-	-
1:640	1,2	0,4	-	-	-	-	-	-
1:1280	1,2	0,2	-	-	-	-	-	-
Témoin de solvant (DMSO)								
1:10	Dilution		0,0	0,0	1,0	2,0	0	0
1:20	Dilution		0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
1:40	Dilution		0,0	0,0	0,0	0,0	0	0
1:80	Dilution		1,0	0,0	0,0	0,0	0	0
Témoin (Aflatoxine B_1)								
10^{-5} M			-	-	-	-	-	-
$5x10^{-6}$ M			0,0	65,2	0,0	57,9	0	63,3

* Exposition de trois heures à l'extrait d'effluent.

** Minimum de 100 boîtes avec métaphase, à moins que le nombre soit limité par suite de l'inhibition mitotique.

*** IM: inhibition mitotique; 1 métaphase pour 4000 cellules.

N.A.: non analysé.

TABLEAU B9 TEST DE SYNTHÈSE RÉPARATRICE DE L'ADN AVEC DES EXTRAITS D'EFFLUENTS FINALS D'USINE DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE (TEST EFFECTUÉ AVEC AVEC UNE CULTURE DE FIBROBLASTES HUMAINS)

Extrait nº			Nombre moyen de grains par noyau*							
			Nº 1		Nº 2		Nº 3		Blanc d'extrait	
Activation métabolique			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9	
Dilution finale de l'extrait	Teneur DMSO de l'extrait dilué (%)	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial								
1:10	10	25	0	0	0	0	0	0	T***	0
1:20	5	12,5	0	0	0	0	1	0	T	0
1:40	2,5	6,2	0	1	0	0	0	0	0	0
1:80	1,2	3,1	0	1	0	0	0	0	0	0
1:160	1,2	1,6	0	1	0	0	0	0	0	0
1:320	1,2	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
1:640	1,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
1:1280	1,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
Témoin de solvant (DMSO)										
1:10	10		0	2	0	0	1	0	0	0
1:20	5		0	1	0	0	0	0	0	0
1:40	2,5		0	1	0	0	0	1	0	0
1:80	1,2		0	0	0	0	0	0	0	0
Témoin (Aflatoxine B_1)										
10^{-4} M			1	38	0	30	1	42	0	28
10^{-5} M			1	30	0	15	0	25	0	17

* Minimum de 30 noyaux comptés, à moins d'indication contraire.
** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.
*** T: = effets toxiques: cellules dont la morphologie s'est modifiée et(ou) qui se sont détachées de la lamelle.

TABLEAU B10 TEST D'INHIBITION DE LA SYNTHÈSE RÉPARATRICE DE L'ADN AVEC DES EXTRAITS D'EFFLUENTS FINALS D'USINES DE CHLORE ÉQUIPÉES DE CELLULES À MERCURE (EFFET SUR LA SYNTHÈSE RÉPARATRICE DE L'ADN, INDUITE PAR LES UV, DANS UNE CULTURE DE FIBROBLASTES HUMAINS)

Extrait nº			Nombre moyen de grains par noyau*							
			Nº 1		Nº 2		Nº 3		Blanc d'extrait	
Activation métabolique				+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
Dilution finale de l'extrait	Teneur DMSO de l'extrait dilué (%)	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial								
1:10	10	25	0	45	0	0	T***	47	0	0
1:20	5	12,5	5	41	5	19	21	51	19	25
1:40	2,5	6,2	26	43	6	19	46	51	47	32
1:80	1,2	3,1	30	42	10	21	50	-	50	36
1:160	1,2	1,6	28	43	11	27	50	-	51	36
1:320	1,2	0,8	30	-	15	23	51	-	50	36
1:640	1,2	0,4	44	-	20	23	51	-	51	-
1:1280	1,2	0,2	56	-	21	-	51	-	51	-
Témoin de solvant (DMSO)										
1:10	10		17	21	ND	26	39	38	ND	ND
1:20	5		30	28	32	29	29	45	40	34
1:40	2,5		34	32	32	ND	33	45	41	33
1:80	1,2		53	36	24	25	49	40	33	35

* Dose de UV utilisée: 20 ergs/mm^2. Minimum de 30 noyaux comptés, à moins d'indication contraire.

** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.

*** T: = effets toxiques: les cellules subissent des modifications morphologiques et(ou) se détachent de la lamelle.

N.A.: non analysé; A.D.: absence de données.

ANNEXE C

RÉSULTATS DE TESTS BIOLOGIQUES POUR DÉTERMINER L'ACTIVITÉ GÉNOTOXIQUE DES EFFLUENTS FINALS DES USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME

TABLEAU C1 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'ÉCHANTILLON Nº 1 D'EFFLUENT BRUT D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À DIAPHRAGME

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'effluent brut	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:2	0,5	8	11	101	90	10	11	6	5	34	13
1:4	0,25	8	7	99	86	5	7	7	9	25	20
1:8	0,12	7	10	105	88	11	10	9	9	22	19
1:16	0,06	7	10	93	80	7	5	5	8	25	14
1:32	0,03	6	10	87	78	10	7	8	6	25	13
Témoin négatif	SSTP***	6	8	82	78	8	7	8	8	27	20
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	815	-	963	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	720	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	694	-	675	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	152	741	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.
***SSTP: solution salée avec tampon de phosphate.

TABLEAU C2 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC L'ÉCHANTILLON Nº 1 D'EFFLUENT FINAL D'UNE USINE ÉQUIPÉE DE CELLULES À DIAPHRAGME

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'extrait**	Volume (ml)*** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:25	10	13	14	247	159	17	2	11	22	72	54
1:40	6,2	16	19	217	162	19	7	10	19	56	54
1:80	3,1	11	12	150	ND	18	17	9	21	43	21
1:160	1,6	10	23	135	81	14	23	7	22	50	46
1:320	0,8	12	21	129	75	20	28	11	17	46	46
1:640	0,4	9	6	89	100	15	16	8	15	34	ND
1:1280	0,2	14	13	90	106	18	22	13	20	36	24
Témoin de solvant	DMSO**	11	13	105	97	17	26	12	18	40	30
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1195	-	1360	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	759	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	969	-	649	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	108	504	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** La teneur finale du solvant dans la boîte est de 4 % DMSO.
*** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.

TABLEAU C3 TEST DE MUTAGÉNICITÉ CHEZ SALMONELLA AVEC UN BLANC D'EXTRAIT

Souche témoin Activation métabolique Dilution finale de l'extrait**	Volume (ml)*** équivalent d'effluent initial	Nombre de mutants réverses positifs à l'histidine par boîte*									
		TA 1535		TA 100		TA 1537		TA 1538		TA 98	
			+S-9		+S-9		+S-9		+S-9		+S-9
1:25	10	15	16	125	91	13	10	15	24	46	40
1:40	6,2	14	14	127	104	13	17	14	16	44	49
1:80	3,1	15	10	111	107	14	22	15	22	31	48
1:160	1,6	16	17	124	70	11	19	11	24	29	40
1:320	0,8	18	17	130	110	12	19	9	21	29	42
1:640	0,4	17	12	109	109	16	17	9	18	24	34
1:1280	0,2	13	15	121	123	18	15	13	20	27	35
Témoin de solvant	DMSO**	16	14	127	121	13	15	14	22	33	41
Témoin positif											
NaAz	5 µg/boîte	1257	-	1283	-	-	-	-	-	-	-
9-AA	100 µg/boîte	-	-	-	-	1032	-	-	-	-	-
2NF	5 µg/boîte	-	-	-	-	-	-	684	-	769	-
B(a)P	10 µg/boîte	-	-	123	828	-	-	-	-	-	-

* Moyenne du nombre de colonies pour trois boîtes.
** La teneur finale du solvant dans la boîte est de 4 % DMSO.
*** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.

TABLEAU C4 ABERRATIONS CHROMOSOMIQUES DANS LES CELLULES DE HAMSTER À QUEUE DE RAT, EXPOSÉES AUX EXTRAITS N°1 D'EFFLUENTS FINALS D'USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME*

			Pourcentage de boîtes métaphasiques avec aberrations** chromosomiques			
Extrait n°			Blanc d'extrait		N° 1	
Activation métabolique				+S-9		+S-9
Dilution finale de l'extrait	Teneur DMSO de l'extrait dilué (%)	Volume (ml) équivalent d'effluent initial				
1:10	10	25	6,0	2,0	1,0	0,0
1:20	5	12,5	2,0	1,0	1,0	0,0
1:40	2,5	6,2	1,0	0,0	0,0	N.A.
1:80	1,2	3,1	0,0	N.A.	N.A.	N.A.
1:160	1,2	1,6	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
1:320	1,2	0,8	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
1:640	1,2	0,4	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
1:1280	1,2	0,2	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Témoin de solvant (DMSO)						
1:10	Dilution		0	0	0	0
1:20	Dilution		0	0	0	0
1:40	Dilution		0	0	0	0
1:80	Dilution		0	0	0	0
Témoin (Aflatoxine B_1)						
10^{-5} M			N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
5×10^{-6} M			0	63,3	0	63,3

* Exposition de trois heures à l'extrait d'effluent.

** Minimum de 100 boîtes avec métaphase, à moins que le nombre soit limité par suite de l'inhibition mitotique.

N.A.: non analysé.

TABLEAU C5 TEST DE SYNTHÈSE RÉPARATRICE DE L'ADN AVEC DES EXTRAITS D'EFFLUENTS FINALS D'USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME (CULTURE DE FIBROBLASTES HUMAINS)

Extrait nº			Pourcentage de boîtes métaphasiques avec aberrations* chromosomiques			
			Échantillon Nº 1		Blanc d'extrait	
Activation métabolique				+S-9		+S-9
Dilution finale de l'extrait	Teneur DMSO de l'extrait dilué (%)	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial				
1:10	10	25	0	0	T***	0
1:20	5	12,5	0	0	T	0
1:40	2,5	6,2	0	1	0	0
1:80	1,2	3,1	1	0	0	0
1:160	1,2	1,6	0	0	0	0
1:320	1,2	0,8	0	0	0	0
1:640	1,2	0,4	0	0	0	0
1:1280	1,2	0,2	0	1	0	0
Témoin de solvant	(DMSO)					
1:10	10		1	0	0	0
1:20	5		0	0	0	0
1:40	2,5		0	1	0	0
1:80	1,2		0	1	0	0
Témoin (Aflatoxine B_1)						
10^{-4} M			1	42	0	28
10^{-5} M			0	25	0	17

* Minimum de 30 noyaux comptés, à moins d'indication contraire.
** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.
*** T: = effets toxiques: cellules dont la morphologie s'est modifiée et(ou) qui se sont détachées de la lamelle.

TABLEAU C6 TEST D'INHIBITION DE LA SYNTHÈSE RÉPARATRICE DE L'ADN AVEC DES EXTRAITS D'EFFLUENTS FINALS D'USINES ÉQUIPÉES DE CELLULES À DIAPHRAGME (EFFET SUR LA SYNTHÈSE RÉPARATRICE DE L'ADN, INDUITE PAR LES UV, DANS DES CULTURES DE FIBROBLASTES HUMAINS)

Extrait n°			Nombre moyen de grains par noyau*			
			Échantillon n° 1		Blanc d'extrait	
Activation métabolique			+S-9		+S-9	
Dilution finale de l'extrait	Teneur DMSO de l'extrait dilué (%)	Volume (ml)** équivalent d'effluent initial				
1:10	10	25	15	38	0	0
1:20	5	12,5	41	38	19	25
1:40	2,5	6,2	42	43	47	32
1:80	1,2	3,1	45	41	50	36
1:160	1,2	1,6	A.D.	41	51	36
1:320	1,2	0,8	43	41	50	36
1:640	1,2	0,4	45	N.A.	51	N.A.
1:1280	1,2	0,2	45	N.A.	51	N.A.
Témoin de solvant (DMSO)						
1:10	10		39	38	A.D.	A.D.
1:20	5		29	45	40	34
1:40	2,5		33	45	41	33
1:80	1,2		44	38	33	35

* Dose de UV utilisée: 20 ergs/mm^2. Minimum de 30 noyaux comptés, à moins d'indication contraire.

** En volume équivalent (ml) d'effluent initial par millilitre de mélange d'incubation.

N.A.: non analysé; A.D.: absence de données.